



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Reutilização de misturas betuminosas fresadas em pavimentos rodoviários

Raquel Maria Carvalho de Araújo Moreira Ribeiro

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Reutilização de misturas betuminosas fresadas em pavimentos rodoviários

Raquel Maria Carvalho de Araújo Moreira Ribeiro

Nº 1980287

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Mestre Adriano Manuel da Silva Teixeira, Assistente Convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Antonio Vega y de la Fuente

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutora Maria Eugénia Oliveira Lopes

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Adriano Manuel da Silva Teixeira

Assistente Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi defendida em prova pública, pela Licenciada **Raquel Maria Carvalho de Araújo Moreira Ribeiro**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 14 de Novembro de 2014 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **10 (dez) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta.*

Dedico esta tese à minha família.

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

São devidos agradecimentos a todos que neste processo me acompanharam.

Agradeço ao Eng^o. Adriano Teixeira pela orientação, pela permanente disponibilidade e ensinamento transmitido.

Agradeço ao Eng^o José Simões da SCUTVIAS pela informação disponibilizada e cedida para utilização no presente trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas de perto ou longe estiveram disponíveis para ajudar sempre que necessário.

Finalmente agradeço à minha Família pela paciência, persistência e encorajamento para que no fim de tudo não desistisse.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Reutilização, Reabilitação, Pavimentos Flexíveis.

Resumo

Em Portugal a maior parte da rede rodoviária é constituída por pavimentos flexíveis, sendo que uma boa parte deles se encontra no fim da sua vida útil. A reabilitação desses pavimentos é por isso uma preocupação actual. Por outro lado, a reabilitação de pavimentos produz uma grande quantidade de resíduos que importa à luz das preocupações com o desenvolvimento sustentável, reutilizar. Do ponto de vista ambiental o processo de reciclagem é a forma mais desejável de reutilizar. Do ponto de vista das misturas betuminosas, a reciclagem a quente constitui o processo preferencial de reutilizar, de modo a obter-se misturas betuminosas recicladas com qualidade idêntica à das misturas betuminosas fresadas quando novas. Nos últimos anos têm vindo a ser desenvolvidas diversas centrais que possibilitam a utilização de misturas betuminosas fresadas. No entanto, em Portugal existem ainda poucas experiências em termos da sua utilização. Estas experiências são muito importantes não só para em produção se detectarem vantagens e desvantagens comparativas das diferentes centrais, mas também para afinar o processo de preparação dos materiais, fabrico da mistura e sua posterior aplicação. A reciclagem de misturas betuminosa enceta a ser uma preocupação económica e ambiental dos Donos de Obra, tendo sempre em vista o desenvolvimento sustentável do nosso país.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Reusing, Rehabilitation, Flexible pavements.

Abstract

In Portugal most of the road network consists of flexible pavements, and a good part of them are at the end of its useful life. The rehabilitation of pavements is therefore a current concern. On the other hand, pavement rehabilitation produces a lot of waste matter in the light of concerns for sustainable development, reuse. From the environmental point of view the process of recycling is the most desirable form of reuse. From the viewpoint of recycling of bituminous hot mixes, the preferred process is to reuse so as to obtain recycled asphalt mixtures with the same quality when new milled bituminous mixtures. In recent years have several plants that enable the use of milled bituminous mixtures been developed. However, in Portugal there are few experiences in terms of their use. These experiences are very important not only for production are detected in comparative advantages and disadvantages of different plants, but also to fine tune the process of preparation of materials , manufacture of the mixture and its subsequent application . The recycling of bituminous mixtures initiates to be an economic and environmental concerns of the owners work , keeping in view the sustainable development of our country

(página propositadamente em branco)

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS	3
2.1	Generalidades	3
2.2	Características Funcionais	4
2.3	Tipos de pavimentos	6
2.4	Patologias dos Pavimentos	8
2.5	Intervenções face às patologias dos pavimentos	12
3.	JUSTIFICAÇÃO PARA A RECICLAGEM DOS PAVIMENTOS	13
3.1	Orientações para Selecção da Reciclagem	15
4.	LEGISLAÇÃO	19
5.	ESTADO DA ARTE	21
5.1	Projectos de investigação	24
6.	TIPOS DE REUTILIZAÇÃO/REENCORPORAÇÃO/RECICLAGEM	27
6.1	Reciclagem “ <i>In Situ</i> ”	31
6.1.1	A Frio com Cimento	32
6.1.2	A Frio com Emulsão Betuminosa	33
6.1.3	Com Espuma de Betume	35
6.1.4	A Quente	36
6.2	Reciclagem em Central	38
6.2.1	A Frio	38
6.2.2	Semi-Quente	39
6.2.3	A Quente	39
7.	TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO	53
8.	CASOS DE INCORPORAÇÃO DE RECICLADO EM NOVAS CAMADAS	59
8.1	Casos Nacionais	59
8.2	Casos Internacionais	61
8.3	Caso de estudo	62
8.4	Outras alternativas	66
9.	ESTIMATIVA DE CUSTOS	71
10.	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	Erro! Marcador não definido.
	ANEXOS	82
	I ESTUDO DE MISTURA BETUMINOSA SEM INCORPORAÇÃO DE RECICLADO	
	II ESTUDO DE MISTURA BETUMINOSA CEM INCORPORAÇÃO DE RECICLADO	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ações e tensões num pavimento rodoviário (Fonte: Paulo Fonseca)	3
Figura 2 – Esquema da estrutura de um pavimento rodoviário (Fonte: InIR)	6
Figura 3 – Estrutura possível como solução para pavimento rodoviário flexível (Fonte: Paulo Fonseca – U. Minho)	7
Figura 4 – Estrutura possível para uma solução de pavimento rígido (Fonte: Paulo Fonseca)	7
Figura 5 – Estrutura possível para uma solução de pavimento semi-rígido (Fonte: Paulo Fonseca)	8
Figura 6 – Pele de Crocodilo	10
Figura 7 – Pele de Crocodilo	10
Figura 8 – Pele Crocodilo e Fenda Transversal	10
Figura 9 – Rodeira (Fonte: EP – JAE 2008)	10
Figura 10 – Peladas e Ninhos	10
Figura 11 – Intervenção mal executada contribuindo para peladas precoces do pavimento	10
Figura 12 – Classificação de técnica de reciclagem de acordo com o local	27
Figura 13 – Várias formas de Intervenção num Pavimento	30
Figura 14 – Equipamento de Reciclagem “in situ” (Fonte: Wirtgen)	31
Figura 15 – Fases da Reciclagem “in situ” a frio com cimento (Costa-Baptista 2006)	33
Figura 16 – Fases da Reciclagem “in situ” com emulsão betuminosa (Costa-Baptista 2006)	34
Figura 17 – Fases de Reciclagem “in situ” a frio com espuma de betume (Costa-Baptista 2006)	35
Figura 18 – Fases da Reciclagem “in situ” a quente (Costa-Baptista 2006)	37
Figura 19 – Central Betuminosa a Frio (adaptado EAPA de 1998)	38
Figura 20 – RA proveniente de fresagem	40
Figura 21 – RA proveniente de demolição	40
Figura 22 – Centrais de produção das misturas betuminosas recicladas	45
Figura 23 – Central Betuminosa Continua – Método de alimentação separada (adaptado de EAPA 1998)	46
Figura 24 – Central Betuminosa Continua duplo tambor (adaptado de EAPA 1998)	47
Figura 25 – Central Betuminosa Continua – método de fluxos contracorrente (adaptado de EAPA 1998)	48
Figura 26 – Central Betuminosa Descontinua (adaptado de EAPA 1998)	49
Figura 27 – Central Betuminosa Descontinua RAP a frio (adaptado de EAPA 1998)	49
Figura 28 – Central Betuminosa Descontinua – método RAP a quente (adaptado de EAPA 1998)	50
Figura 29 – Central Betuminosa Descontinua – método Recyclean (adaptado de EAPA 1998)	51
Figura 30 – Central Torre (adaptado de EAPA 1998)	52
Figura 31 – Curvas granulométricas comparativas	63
Figura 32 – Comparação Baridade	63
Figura 33 – Comparação Porosidade	63
Figura 34 – Comparação Carga Rotura	64
Figura 35 – Comparação Deformação	64
Figura 36 – Grau Saturação em Betume	64
Figura 37 – Vazios na Mistura de Agregados	64
Figura 38 – Esquema de pormenor das “caixas” a intervensionar	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Função das Camadas e da Função de um Pavimento Rodoviário (adaptado de InIR)	5
Tabela 2 – Famílias e Tipos de degradações (Pereira e Miranda 1999)	9
Tabela 3 – Principais manifestações de degradações em pavimentos (Azevedo 2002)	11
Tabela 4 - Reciclagem “in situ” Vs Reciclagem em Central	28
Tabela 5 - Quantidade de misturas betuminosas recicladas na Europa (EAPA)	44
Tabela 6 - Método de Reabilitação de pavimentos flexíveis de acordo com a degradação (USDD 2001)	52
Tabela 7 - Casos Nacionais de Reciclagem	60
Tabela 8 - Casos Internacionais de Reciclagem	61
Tabela 9 – Análise granulométrica da mistura sem incorporação	62
Tabela 10 - Análise granulométrica da mistura com incorporação de reciclado	62
Tabela 11 - Comparação características das misturas com e sem incorporação de reciclado	65
Tabela 12 - Custos a considerar	73
Tabela 13 - Custos comparativo da produção das misturas	73
Tabela 14 - Custos Fixos	75
Tabela 15 - Comparação custos aplicação em obra	75

LISTA DE ABREVIATURAS

A1 – Auto-estrada 1
BRISA – Auto-estradas de Portugal concessionária
BMB – Betume Modificado com Borracha
BBA – Betume de alta percentagem de borracha
BBM – Betume de média percentagem de borracha
BBB – Betume de baixa percentagem de borracha
CM – Câmara Municipal
CE – Comunidade Europeia
EN – Estrada Nacional
EP – Estradas de Portugal
EM – Estrada Municipal
EVA – Copolímero de Etileno Acetato de vinilo
EAPA – European Asphalt Pavement Association
EUA – Estados Unidos da América
FMI – Fundo Monetário Internacional
InIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias
I&D – Investigação & Desenvolvimento
JAE – Junta Autónoma de Estradas
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MBF – Mistura Betuminosa Fresada
MBR – Mistura Betuminosa Reciclada
MBRQ – Mistura Betuminosa Reciclada Quente
PIARC – World Road Association Mondial de la Route
PNR 85 – Plano Nacional Rodoviário 2000
pbr – percentagem betume total
pbn – percentagem betume novo
PE – Polietileno
PP Polipropileno
PS – Poliestireno
RCD – Resíduo de Construção e Demolição
RA – Reclaimed Asphalt
RAP – Reclaimed Asphalt Pavement
RD – Road
TSM – Tambor-Secador-Misturador
USDD – United States Department of Defense
RECIPAV – Engenharia e Pavimentos, Lda

1. INTRODUÇÃO

A necessidade da preservação do meio ambiente recorrendo a práticas que limitam a utilização de recursos naturais, escassos por natureza, em conjunto com importantes ganhos económicos, resulta a que se recorra à utilização da reciclagem como uma das mais importantes técnicas de manutenção e reabilitação de pavimentos. Esta técnica tem implícito um desenvolvimento sustentável e uma redução de impacto ambiental, uma vez que se recorre à reutilização de materiais retirados do próprio pavimento, levando a que por um lado se diminua a necessidade de recorrer à utilização de materiais exteriores à obra, nomeadamente agregados e ligantes betuminosos e por outro lado, deixe de ser necessário colocar as misturas retiradas, ou pelo menos parte delas, até então consideradas como resíduo, a vazadouro.

Na gestão das redes viárias enfrentam-se vários problemas, nomeadamente:

- Escassos recursos financeiros disponíveis;
- Escassez de materiais naturais com as características adequadas;
- Legislação sobre a protecção ambiental cada vez mais exigente, nomeadamente no que se refere à colocação em depósito de resíduos da construção;
- Elevado custo da energia que propicia a redução do seu consumo.

Actualmente, a crescente preocupação com a protecção ambiental que se verifica em todas as áreas, leva a que, a nível da Engenharia Rodoviária, sejam já utilizadas técnicas de reciclagem de subprodutos resultantes de trabalhos de beneficiação e reforço de pavimentos flexíveis.

Dentro destas, as técnicas de reciclagem a quente são das mais utilizadas.

Em Portugal, apesar de já estarem previstas soluções de reciclagem em alguns projectos, verifica-se que a quantidade de material fresado sobrando, não reutilizados portanto, ainda atinge valores apreciáveis.

A reciclagem e a reutilização de pavimentos existentes é uma técnica alternativa extremamente vantajosa em termos financeiros, ao reforço convencional ou à reconstrução dos pavimentos.

2. PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

2.1 Generalidades

Um pavimento é constituído por um conjunto de multi-camadas com diferentes constituições que se encontram colocadas sobre uma base de terreno natural ou de um solo seleccionado (figura 1).

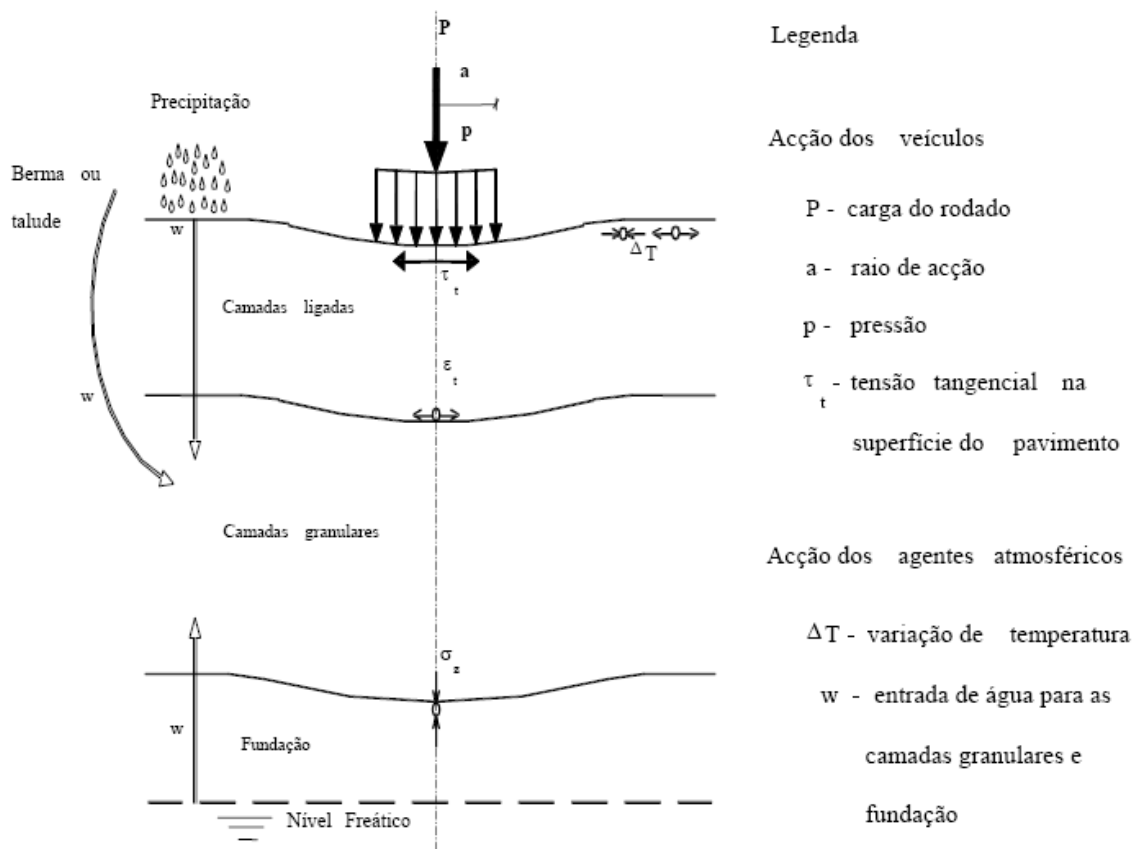


Figura 1 – Esquema ações e tensões num pavimento rodoviário (Fonte: Paulo Fonseca)

A principal função de um pavimento rodoviário é assegurar uma superfície de rolamento livre e desempenhada que permita a circulação de veículos em adequadas condições de segurança, conforto e economia, durante o período de vida do pavimento, estando este submetido às ações do tráfego e a uma variedade de condições atmosféricas.

O estado do pavimento pode ser descrito por indicadores que agrupam 2 conjuntos de características que consubstanciam 2 tipos de requisitos dos pavimentos: a qualidade funcional e a qualidade estrutural.

Qualidade funcional está relacionada com as exigências dos utentes, nomeadamente quanto ao conforto e segurança de circulação, dizendo respeito a algumas características superficiais do pavimento, entre as quais, a regularidade, a textura e assim as características antiderrapantes, qualidades ópticas como a cor e características associadas à geração de ruído de rolamento. Está intimamente relacionada com a constituição da camada superior dos pavimentos, a camada de desgaste.

Qualidade estrutural tem a ver com a capacidade do pavimento para suportar cargas dos veículos sem sofrer alterações para além de determinados valores limites, os quais colocariam em causa a qualidade funcional. A qualidade estrutural diz respeito a características como a integridade, a regularidade e o desempenho da superfície, traduzidas pela ausência de fendas, covas, depressões e outras deformações permanentes diferenciais e está relacionada com o comportamento estrutural de todo o pavimento.

2.2 Características Funcionais

As diferentes camadas do pavimento dispõem-se com qualidade e resistência decrescente (no sentido da superfície do pavimento para o solo de fundação).

Cada camada é caracterizada pelo comportamento mecânico dos materiais geralmente, definido pelo módulo de rigidez (E) e pelo coeficiente de Poisson (ν).

O módulo de rigidez define a relação entre as tensões e as extensões dos materiais que constituem as camadas de um pavimento.

O coeficiente de Poisson define a relação entre as deformações radiais e as deformações axiais dos materiais.

Na tabela abaixo resumem-se as funções de cada uma das camadas de um pavimento.

Camada do Pavimento		Função
Camadas superiores	Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> • Adequada circulação do tráfego com conforto e segurança • Drenagem ou impermeabilização • Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego
	Regularização	<ul style="list-style-type: none"> • Camada estrutural • Regularizar a superfície da camada base
	Base Betuminosa	<ul style="list-style-type: none"> • Camada estrutural
Camadas Granulares	Base	<ul style="list-style-type: none"> • Camada estrutural • Degradação das cargas induzidas pelo tráfego
	Sub-Base	<ul style="list-style-type: none"> • Proteger durante a fase construtiva as camadas inferiores • Proteger a base da subida de água capilar • Drenagem interna do pavimento • Camada estrutural • Resistência à erosão
Solo de Fundação	Leito de Pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar deformação do solo • Homogeneidade das características mecânicas da fundação • Plataforma construtiva • Possibilidade de compactação das camadas sobrejacentes em adequadas condições
	Terreno de Fundação	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte do pavimento; <p>Pois são as suas características que condicionam o dimensionamento</p>

Tabela 1 – Função das Camadas e da Função de um Pavimento Rodoviário (adaptado de INIR)

A figura 2 esquematiza a estrutura de um pavimento.

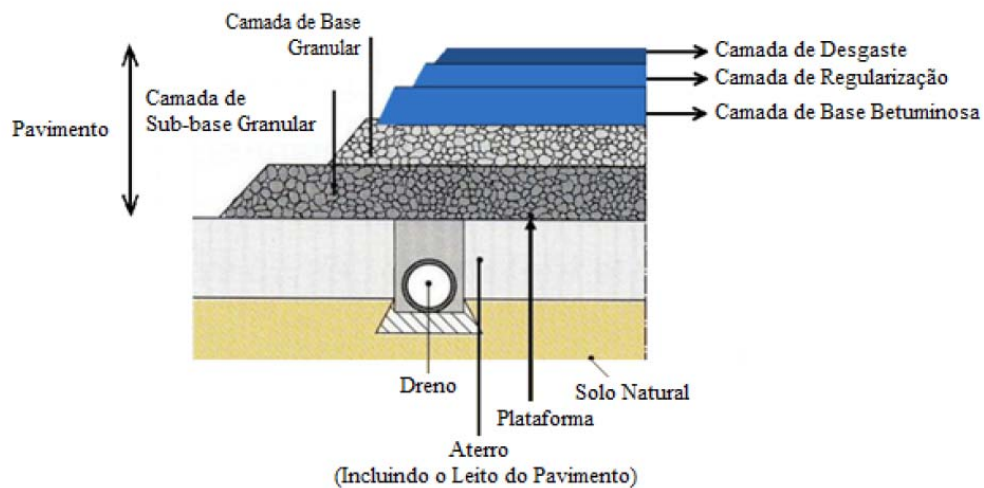


Figura 2 – Esquema da estrutura de um pavimento rodoviário (Fonte: InIR)

2.3 Tipos de pavimentos

Na Rede Rodoviária Nacional existem 3 tipos de pavimentos:

- Os pavimentos flexíveis;
- Os pavimentos rígidos;
- Os pavimentos semi-rígidos.

Sendo a maioria da rede viária constituída por pavimentos flexíveis.

Os vários tipos de pavimentos diferem entre si, principalmente, no tipo de materiais utilizados e no modo de funcionamento.

Pavimento Flexível, no qual a(s) camada(s) superior(es) são misturas betuminosas, sendo a(s) camada(s) sobrejacentes(s) ao leito do pavimento em materiais granulares, esquematizado na figura 3.

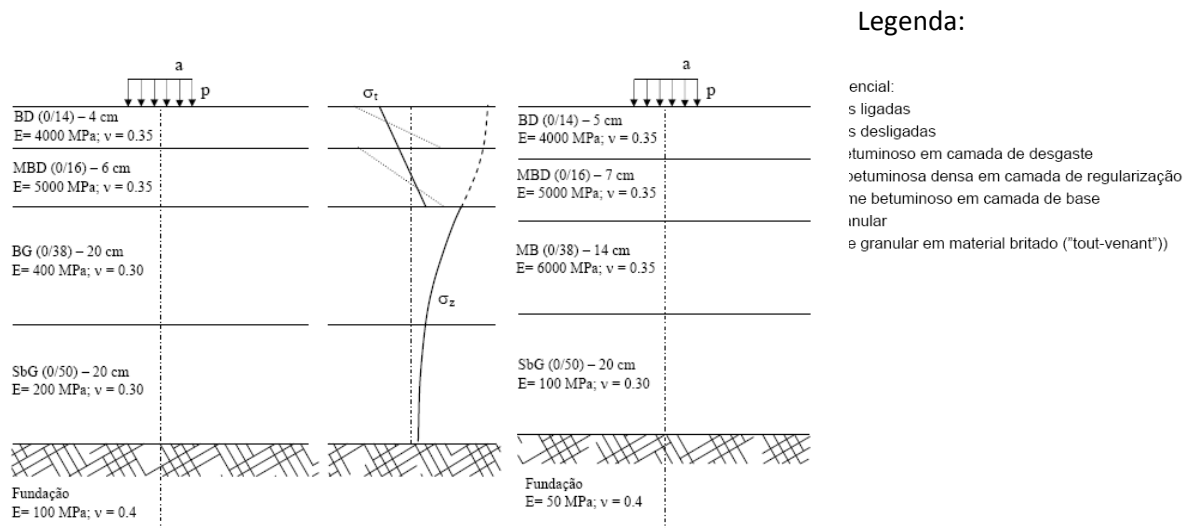


Figura 3 – Estrutura possível como solução para pavimento rodoviário flexível (Fonte: Paulo Fonseca – U. Minho)

Pavimento Rígido, no qual a camada de desgaste é constituída por um betão de cimento de elevada resistência, esquematizado na figura 4.

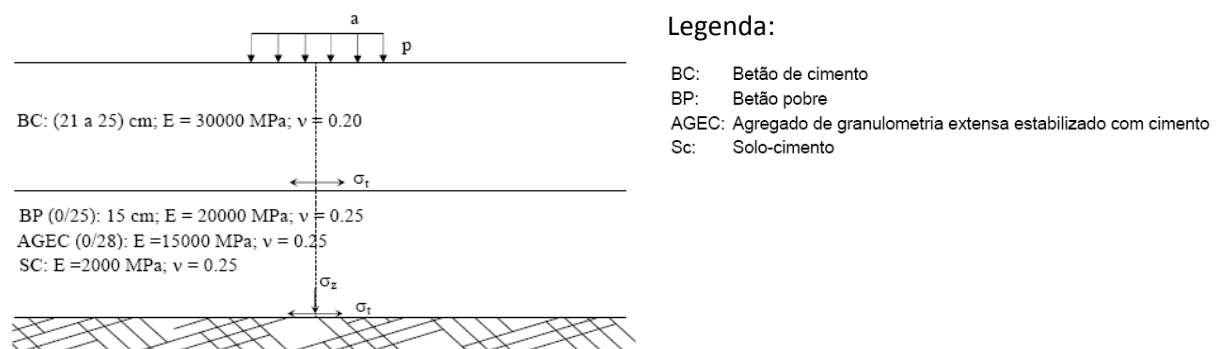


Figura 4 – Estrutura possível para uma solução de pavimento rígido (Fonte: Paulo Fonseca)

Pavimento Semi-rígido, no qual a(s) camada(s) superior(es) são em misturas betuminosas, sendo a(s) camada(s) subjacente(s) à(s) betuminosa(s) e sobrejacente(s) aos leito do pavimento em materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos, esquematizado na figura 5.

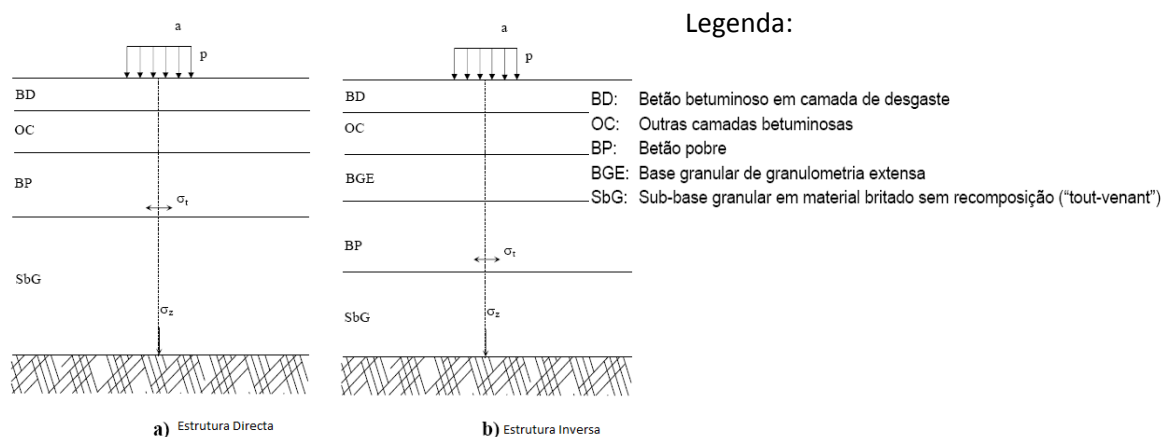


Figura 5 – Estrutura possível para uma solução de pavimento semi-rígido (Fonte: Paulo Fonseca)

O tipo de pavimento a adoptar depende entre outros factores dos seguintes itens:

- Categoria da estrada;
- Condições climáticas;
- Tráfego previsto, carga e distribuição;
- Condições do terreno de fundação.

2.4 Patologias dos Pavimentos

Os pavimentos rodoviários são dimensionados para responderem às solicitações do tráfego e do clima durante um período de vida, de modo a oferecer condições de circulação confortáveis e seguras.

Um comportamento inadequado dos pavimentos origina degradações prematuras.

As degradações dos pavimentos rodoviários são um processo que resulta da evolução natural dos mesmos. Estas têm determinada localização no pavimento e há uma determinada sequência e interacção mútua entre elas. Este facto faz com que o processo de degradação seja acelerado, principalmente no final do período de vida do pavimento.

A degradação das características dos pavimentos (Tabela 2) impede que estes cumpram as funções para os quais foram construídos de forma a satisfazer plenamente as exigências dos utentes que neles circulam.

As degradações das características estruturais compreendem a perda de capacidade de carga do pavimento representada pela ocorrência de deformações permanentes e/ou pelo surgimento de fendilhamento à superfície (Figuras 6; 7; 8; 9).

As degradações das características superficiais compreendem a deficiente regularidade (transversal e longitudinal) e a deficiente textura (e consequente diminuição do atrito) (Figuras 10; 11).

Família de Degradações	Tipo de Degradações		
Deformações	Abatimentos	Longitudinal	Berma
			Eixo
		Transversal	
	Deformações Localizadas		
	Ondulações		
	Rodeiras	Grande Raio (camada inferiores)	
Pequeno Raio (camada superior)			
Fendilhamento	Fendas isoladas	Fadiga	
		Longitudinais	Eixo
			Berma
		Transversais	
	Parabólicas		
	Pele de Crocodilo	Malha fina (< 40 cm)	
Malha larga (> 40 cm)			
Desagregação da Camada de Desgaste	Desagregações Superficiais		
	Cabeças de Gato		
	Peladas		
	Ninhos (covas)		
Movimento de Materiais	Exsudação		
	Subida de Finos		

Tabela 2 – Famílias e Tipos de degradações (Pereira e Miranda 1999)



Figura 6 – Pele de Crocodilo



Figura 7 – Pele de Crocodilo



Figura 8 – Pele Crocodilo e Fenda Transversal



Figura 9 – Rodeira (Fonte: EP – JAE 2008)



Figura 10 – Peladas e Ninhos



Figura 11 – Intervenção mal executada contribuindo para peladas precoces do pavimento

As patologias estão sempre associadas a acções externas associadas ao tráfego ou às condições climatéricas, de acordo com a tabela abaixo.

Degradação	Causas Gerais	Causas Específicas
Fendas	Associadas ao tráfego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eixos sobrecarregados ▪ Repetida aplicação de cargas (fadiga) ▪ Deslizamento/escorregamento entre camadas (resultante de forças de travagem) ▪ Propagação de fendas de camadas inferiores (podem ser aceleradas pelo tráfego)
	Não associadas ao tráfego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variações térmicas ▪ Variações do teor em água ▪ Retracção dos materiais subjacentes
Deformações	Associadas ao tráfego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rodeiras (resultante da repetida aplicação de cargas) ▪ Deformações por influência (resultante de uma única ou de poucas aplicações de carga) ▪ Erosão de camadas de suporte (escalonamento de lajes)
	Não associadas ao tráfego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empolamento (resultante da expansão das argilas ou da acção gelo/degelo) ▪ Assentamento (resultantes de consolidação da fundação ou de drenagem insuficiente)
Desagregações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualidade e formulação dos materiais ▪ Processos construtivos 	

Tabela 3 – Principais manifestações de degradações em pavimentos (Azevedo 2002)

As acções de conservação e reabilitação têm como finalidade a preservação ou correcção das características funcionais e/ou estruturais de um pavimento após a sua construção e entrada em serviço.

A ausência de conservação ou má conservação realizada tardiamente acarreta custos de diversas naturezas, nomeadamente custos socioeconómicos, custos ambientais e ao desgaste dos veículos, ao consumo de combustível e associados à ocorrência de acidentes motivados pela degradação das condições de serviço da via.

2.5 Intervenções face às patologias dos pavimentos

As intervenções de recuperação funcional actuam nas camadas betuminosas e por vezes apenas na camada de desgaste. As soluções mais frequentes são:

- Aplicação de uma fina camada de mistura betuminosa a quente sob a superfície existente. Nesta técnica é usual o recurso a betumes modificados e mais recentemente com adição de borracha de pneus;
- Fresar e substituir as camadas betuminosas degradadas por materiais betuminosos novos modificados;
- Reciclagem das camadas betuminosas em central ou no local.

As intervenções de recuperação a nível estrutural, consiste na intervenção nas camadas granulares e/ou betuminosas. As soluções mais frequentes são:

- Reconstrução do pavimento, removendo as camadas degradadas e aplicando novos materiais em novas camadas. Esta solução implica a produção de uma elevada quantidade de resíduos para vazadouro, o que a torna pouco recomendável a nível ambiental e económico;
- Construção de camadas betuminosas adicionais sob a superfície do pavimento. É uma das soluções mais utilizada em Portugal, por ser mais fácil e económica a curto prazo, pois quando o pavimento existente é incorrectamente avaliado, rapidamente se degrada ou por sub-dimensionamento ou por sobre-dimensionamento, pois a aplicação sucessiva de camadas, por vezes espessas aumenta a carga sobre as camadas granulares;
- Reciclagem profunda que engloba as camadas betuminosas e camadas granulares, obtendo uma camada homogénea estabilizada com ligantes hidráulicos e/ou betuminosas. O processo pode ser em central ou no local.

3. JUSTIFICAÇÃO PARA A RECICLAGEM DOS PAVIMENTOS

Após a construção de um pavimento, é fundamental a sua conservação, para garantir as qualidades funcionais e estruturais ao longo da sua vida útil.

O envelhecimento do pavimento ocorre fundamentalmente pelo envelhecimento do betume que sofre alterações físicas e químicas deixando-o mais duro e frágil, e com problemas de resistência à fadiga, aumentando o risco da sua fissuração e deterioração.

A deterioração dos pavimentos é um processo que evolui inicialmente de forma lenta, mas se não forem realizadas obras de conservação em tempo útil, em poucos anos se atingirá o colapso total da estrutura.

A velocidade de deterioração pode variar em função das condições ambientais, da capacidade de suporte do pavimento e do solo de fundação, da qualidade dos materiais utilizados, do volume de tráfego e do processo construtivo.

Analisando a evolução da rede nas últimas décadas de acordo com o INIR, verifica-se:

- Crescimento significativo e sua valorização;
- Aumento do volume de tráfego, sendo esse aumento bastante significativo;
- Crescente número de acidentes nas estradas;
- Projectos inadequados de acordo com a realidade actual;
- Controle e execução deficiente no passado;
- Avanço tecnológico de inúmeras técnicas de manutenção e reabilitação de estradas.

As técnicas de conservação e reabilitação podem ser aplicáveis a nível funcional (superficial) e/ou estrutural, dependendo do estado de degradação do pavimento e da estratégia escolhida pelas administrações responsáveis pelas estradas.

É frequente os pavimentos necessitarem de intervenções de conservação ou reabilitação, não previstas, ainda antes de atingirem o final do período de vida útil para o qual foram dimensionados, com custos significativos associados, para as administrações rodoviárias e para os utentes.

O objectivo principal da reciclagem de um pavimento é recuperar as propriedades originais dos materiais a fresar e, sempre que necessário, melhora-los, por forma a obter uma estrutura homogénea e adaptada ao tráfego previsto.

Ainda em relação aos objectivos da reciclagem de pavimentos, e em suma, pode-se dizer que existe unanimidade em relação a três grandes vantagens da reutilização dos materiais provenientes da fresagem de pavimentos e são elas:

- Utilização do pavimento como fonte de matéria-prima, o que conduz à redução da reutilização dos recursos naturais (agregados e betume);
- Minimização da quantidade de materiais fresados provenientes do levantamento de camadas dos pavimentos antigos a serem depositados em vazadouro;
- Diminuição dos custos da reabilitação do pavimento;

A reciclagem de pavimentos rodoviários consiste na neutralização dos materiais existentes e a sua aplicação na construção de uma nova camada mediante a fresagem destes até uma determinada profundidade, e a adição de um ligante, por exemplo cimento ou emulsão betuminosa, água se necessário, para a hidratação e compactação eventualmente necessário agregados para correcções granulométricas, e algum aditivo com uma dosagem obtida mediante ensaios.

A mistura homogénea destes materiais é espalhada e compactada com um tempo de cura adequado, constituindo geralmente uma camada de base, ou seja, uma camada com resistência estrutural, de um novo pavimento.

Em Portugal são vários os destinos do fresado, sendo o mais habitual o simples abandono ou depósito, não sendo feita qualquer reutilização. Outro fim é utilizá-lo em caminhos secundários destinados a tráfego sem qualquer significado e em que o material fresado funciona como base de suporte alternativa ao tradicional caminho em terra batida.

Em suma, na tabela abaixo segue um resumo dos objectivos e vantagens da reciclagem.

<i>Objectivos</i>	<i>Vantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Transformar um pavimento degradado e heterogéneo numa estrutura resistente e mais homogénea; • Aumentar a capacidade de suporte, adaptando-a às solicitações do tráfego; • Aumentar a sua durabilidade: reduzir a susceptibilidade à água e aumentar a resistência à erosão; • Proteger o leito de pavimento e as camadas inferiores do pavimento, cujas características são muitas vezes deficientes; • Conservação de agregados, de ligante e de energia; • Preservação do meio ambiente; • Manutenção das condições geométricas existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do impacte ambiental; misturas retiradas dos pavimentos não vão para vazadouros; redução do problema da produção de resíduos. Exploração da “pedreira” que consiste o pavimento (valorização ambiental); • Economia de materiais e de energia (técnica a frio), (Valorização Económica e energética); • Redução da utilização de novos agregados e ligantes betuminosos conceito de “utilização de ciclo fechado dos materiais rodoviários”; • “Eliminação de fendas”, impedindo a propagação; • Redução do impacto das obras de conservação: para o pavimento existente, para os utentes; • Manutenção da cota do pavimento; • Custos (valorização económica).

Os principais objectivos da conservação de pavimentos rodoviários são os seguintes:

- Preservar o capital constituído pela rede rodoviária;
- Assegurar um nível de serviço correcto aos utentes oferecendo uma superfície adequada à circulação com custos mínimos e com condições de segurança e de conforto.

3.1 Orientações para Selecção da Reciclagem

A selecção da reciclagem entre as diversas alternativas disponíveis para a reabilitação de um pavimento depende de diversos factores, entre os quais podem ser citados os seguintes:

- Observação dos defeitos do pavimento;

- Determinação das prováveis causas dos defeitos, baseados em estudos de laboratório e de campo;
- Informações de projecto e histórico das intervenções de conservação;
- Custos;
- Histórico de desempenho do pavimento;
- Factores ambientais;
- Tráfego.

Desde que a reciclagem tenha sido considerada como uma alternativa viável para a reabilitação, a melhor modalidade (a quente ou a frio) deverá ser seleccionada.

Na selecção do processo deverão ser considerados os seguintes itens:

- Condição de superfície (fendilamentos, desgastes, rodeiras, etc.);
- Capacidade estrutural;
- Qualidade do material;
- Disponibilidade de material novo;
- Irregularidade longitudinal e transversal;
- Resistência à derrapagem (se o material for usado para camada de revestimento);
- Localização e extensão do trecho;
- Classe da estrada;
- Secção transversal do pavimento;
- Condições geométricas;
- Tráfego (actual e futuro).

A reciclagem dos pavimentos existentes consiste na reconstrução dos mesmos com o objectivo de transformar as estruturas envelhecidas, degradadas e normalmente heterogéneas, em pavimentos mais homogéneos e regulares, mais resistentes e mais consentâneos com as exigências a que estão ou irão estar sujeitos.

As administrações rodoviárias deparam-se, hoje em dia, com o grande objectivo de conservar e reabilitar o património construído, cingindo-se aos orçamentos disponíveis, bem como o de prosseguir com a modernização da rede, de acordo com os novos níveis de tráfego e com as crescentes exigências de qualidade.

Por outro lado, é imperativo que a conservação e reabilitação de pavimentos atenda às questões ambientais, favorecendo a economia das matérias-primas a utilizar na construção rodoviária e o aproveitamento de materiais alternativos.

Sabe-se que os pavimentos rodoviários são projectados para um dado período de vida, durante o qual deverão ser alvo de medidas de conservação e findo o qual se procederá à sua reabilitação de acordo com as condições e critérios da altura. Este facto obriga ainda, a que actualmente, quando da tomada de decisão da sua construção e/ou reabilitação, sejam utilizadas técnicas e materiais que não comprometam a sua reabilitação de forma sustentável no futuro, ou seja, que os materiais utilizados sejam “economicamente” recicláveis.

Nas últimas décadas, a rede rodoviária sofreu um crescimento acentuado na sua extensão, volume de tráfego, qualidade e importância estratégica no desenvolvimento do País. Este forte crescimento deveu-se sobretudo à implantação do Plano Rodoviário Nacional 85 (PRN 85) e à entrada de Portugal na União Europeia, que se traduziu na entrada de fundos que foram investidos na construção de novas estradas e na melhoria das existentes. Actualmente, apesar da rede rodoviária nacional proposta no Plano Rodoviário Nacional (PRN 2000) estar ainda por concluir (cerca de 80% do plano está cumprido), Portugal possui já uma razoável rede rodoviária, comparada com outros países Europeus.

Hoje é cada vez mais difícil encontrar fonte de financiamento para a conservação de estradas e assiste-se sistematicamente, a uma redução dos períodos de vida útil no dimensionamento de pavimentos.

A política actual incide sobretudo em estratégias de conservação ou reabilitação da rede existente, de forma a garantir, não só as características superficiais e estruturais das vias, mas também as condições de segurança e conforto dos seus utilizadores.

As entidades responsáveis pela gestão das vias de comunicação, deparam-se actualmente, com o desafio de conservar e reabilitar o património rodoviário existente, contemplando-se cada vez mais com orçamentos reduzidos e níveis de exigência de qualidade elevados. Por outro lado, seguindo as outras vertentes da engenharia civil, a questão da sustentabilidade e do ambiente são pontos que não estão esquecidos pelas entidades gestoras das redes viárias, pelo que cada vez mais privilegia-se não só os critérios clássicos de exequibilidade técnica e económica, como também a minimização dos impactos ambientais. A junção dos factores socioeconómicos com os

ambientais, tem conduzido ao aparecimento de novas técnicas de conservação e de reabilitação, privilegiando a economia das matérias-primas e reaproveitamento de materiais para a concepção de pavimentos, respondendo assim aos actuais níveis de exigência (Batista 2004).

O uso de novas soluções para a conservação e reabilitação de pavimentos, em detrimento das soluções ditas tradicionais são cada vez mais comuns.

4. LEGISLAÇÃO

Os resíduos de construção e demolição – RCD – podem ser definidos como “ Resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação e demolição e de derrocada de edificações”.

A nível **Europeu**, foi publicada a directiva 2008/98/CE, a qual se encontra focada em:

- Minimizar o impacte ambiental negativo da produção e gestão de resíduos;
- Harmonizar a legislação a nível europeu;
- Reduzir a utilização de recursos e proporcionar a aplicação prática da hierarquia de gestão de resíduos;
- Prioridade em relação à valorização energética dos resíduos.
-

Apesar desta directiva não ser específica para nenhum tipo de resíduo, nesta existem duas importantes referencias aos resíduos de construção e demolição, referenciando que “até 2020, a preparação e a reutilização, reciclagem e valorização de (...) resíduos de construção e demolição não perigosos (...) sofre um aumento mínimo de 70% em peso”.

Em **Portugal** o Decreto-Lei 73/2011 transpõe a Directiva nº 2008/98/CE, preservação dos recursos naturais e da promoção da valorização dos resíduos, as empreitadas de obras públicas terão de utilizar obrigatoriamente, desde que seja tecnicamente exequível, pelo menos 5% de materiais reciclados ou que incorporem materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas em obra.

O referido Decreto-Lei, vem criar condições para a aplicação de medidas de prevenção e reaproveitamento de RCD, associando à utilização de materiais com um potencial de reutilização e reciclagem superior.

A gestão de resíduos de RCD prevê a reincorporação de resíduos betuminosos em centrais, desde que sejam cumpridas as especificações técnicas elaboradas pelo LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, com o objectivo de diminuir a utilização de recursos naturais e de minimizar o recurso a disposição em aterro.

As especificações técnicas são:

- EN 471/2009 – Guia para utilização de agregados reciclados grossos em betão de ligantes hidráulicos;
- EN 472/2009 – Guia para a reciclagem de Misturas Betuminosas a quente em central;

- EN 473/2009 – Guia para reciclados de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos;
- EN 474/2009 – Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camadas de leito de infra-estruturas de transporte.

A construção de uma sociedade de reciclagem consciente dos prejuízos causados no passado e da emergência renova-se para implementar estratégias de sustentabilidade.

5. ESTADO DA ARTE

Nos últimos anos tem-se assistido à crescente incorporação de reciclagem, não só devido à reutilização dos materiais, mas principalmente como solução possível para a reabilitação de pavimentos muito degradados, ou cujas características se pretende melhorar.

Esta solução surgiu nos EUA em 1915. Porém, a partir dos anos 30 a reciclagem perdeu força devido ao aumento da oferta do petróleo. Contudo, nos anos 70 devido à crise petrolífera, que levou ao aumento significativo do preço do petróleo, conduzindo a custos elevados do betume asfáltico e dos combustíveis que influenciavam directamente o custo de fabrico, transporte e aplicação das misturas (Baptista 2006).

Nos EUA cerca de 80% de toda a mistura betuminosa nova contém material fresado, trazendo economia quanto ao consumo de energia, betume e novos agregados.

No Brasil a reciclagem de pavimentos foi empregue pela primeira vez em 1960.

No Japão, a reciclagem de pavimentos tem sido vista como o método do futuro quanto à manutenção das vias daquele país, aproximadamente 90% do material fresado da camada de desgaste é reciclado e reaproveitado/reincorporado na pavimentação de vias.

A primeira reciclagem de pavimentos na África do Sul foi realizada na reabilitação da Estrada Nacional 3 no início de 1980.

A Nigéria iniciou a implementação de reciclagem de pavimentos a partir de 2003, pois a sua rede viária tem cerca de 32 anos e têm como objectivo até 2015 melhorar a sua rede viária.

Na Alemanha, a execução de fresagem de pavimentos com reaproveitamento do material fresado é impulsionado logo após a 2ª Guerra Mundial, face ao estado de detioração instalado em toda a rede viária do país.

Actualmente, esta solução tem vindo a aumentar não devido aos preços actuais do petróleo mas sobretudo a questões de ordem ambiental. Anteriormente, os critérios adoptados no projecto de reabilitação de pavimentos rodoviários centravam-se na ordem técnica e económica, actualmente e futuramente deverá centrar-se principalmente em factores de ordem ambiental (Batista 2004).

A Dinamarca e Holanda, foram pioneiros no desenvolvimento de estudos e legislação no sentido de promover a reciclagem de resíduos da construção e demolição, de modo a obter agregados não naturais, normalmente resultantes da demolição de edifícios, estradas e aeroportos.

De acordo com Gonçalves (2003) este desenvolvimento permitiu que em 1994, nestes países, se conseguisse reciclar cerca de 80% dos resíduos da construção e demolição. Outros países como a Alemanha, o Reino Unido, o Japão e os Estados Unidos vêm seguindo políticas semelhantes.

Na Europa, a produção anual de misturas betuminosas a quente excede as 270 milhões de toneladas. As misturas betuminosas são tecnicamente inteiramente recicláveis. No entanto, apesar de maioria das misturas recuperadas durante os trabalhos de manutenção, será adequada para incorporação em novas camadas de misturas betuminosas através do processo a quente, apenas uma pequena parte delas e actualmente reciclada por este processo.

Assim, tomando a reciclagem de materiais dos pavimentos como um importante instrumento na implementação da política de desenvolvimento sustentável, esta necessita de ser activamente provida por especificações, projectos experimentais e transferência de conhecimento de forma resumida, e de acordo com PIARC (2001) as medidas concretas que estimulam a reciclagem são:

- Mudança das especificações de forma a passarem a basear-se no desempenho dos materiais dos pavimentos;
- Promoção de projectos de estrutura de pavimentos para otimizar a reutilização de todos os materiais de pavimentos;
- Os problemas logísticos de implementar programas de reciclagem, bem como qualquer benefício económico inerente;
- Realização de projectos de demonstração, onde o empreiteiro tem de aceitar o material escolhido para a reciclagem, mas em que o risco é partilhado com o cliente.

Actualmente, as misturas betuminosas fabricadas a quente com reutilização de misturas betuminosas envelhecidas provenientes da fresagem de pavimentos antigos (misturas betuminosas com reciclagem a quente), ainda são alvo de alguma desconfiança face à qualidade das misturas betuminosas tradicionais.

Em Portugal ainda são poucas as experiencias com a técnica de reciclagem de misturas betuminosas a quente.

A partir de 1985 a rede rodoviária nacional sofreu grande transformação com o objectivo de promover a sua modernização. Esse esforço incidiu de forma particular na rede fundamental (Itinerários Principais e Complementares) ocorrendo a simultânea redução da rede considerada como nacional. Actualmente, de acordo com o Plano Nacional Rodoviário de 2000 (PNR 2000), a construção de novas estradas continua a efectuar-se para que a rede rodoviária Portuguesa venha a ter uma qualidade equivalente à dos países europeus mais desenvolvidos.

A reciclagem de misturas betuminosas aparece assim como uma técnica de reabilitação de pavimentos rodoviários. No entanto a sua importância vai para além de uma simples reabilitação uma vez que vai de encontro às preocupações actuais em relação às políticas de desenvolvimento sustentável.

Define-se habitualmente desenvolvimento sustentável, o que vai de encontro às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.

Este objectivo possibilita um clima político onde a intenção é obter um ciclo fechado através da reciclagem e reutilização de materiais e onde, naturalmente, a situação óptima ocorre quando a reciclagem pode ser justificada economicamente. No entanto, enquanto tal não acontece, outros mecanismos tem de ser introduzidos para encorajar a reciclagem e reutilização das estruturas de pavimentos existentes. Essas medidas podem sumariamente ser as seguintes:

- Promoção do espírito de reciclagem:
- Donos de obra devem partilhar o risco com os empreiteiros para estimular a reciclagem e reutilização;
- Autoridades rodoviárias devem enfatizar a reciclagem nas especificações e devem introduzir o controlo da qualidade para os materiais recicláveis;
- Introdução de bónus para a reutilização;
- Comparticipação no suporte de investimento de capital nas centrais de reciclagem para as tornar capazes de liderar com altas taxas de reciclagem.

A reciclagem tem vários benefícios podendo no entanto destacar-se dois, por serem mais importantes. O primeiro tem a ver com a atractividade da utilização de materiais disponíveis em termos económicos e o segundo tem a ver com o facto de a utilização mais extensiva dos materiais reciclados ser exigível em termos ambientais.

A reciclagem não só reduz os custos de transporte a vazadouro dos materiais betuminosos como reduz a procura de recursos naturais escassos, como é o caso dos afloramentos naturais. A reciclagem toma assim um importante papel nas políticas de planeamento dos agregados. O consumo de agregados em países industrializados é muito elevado, cerca de 6 a 8 toneladas por habitante, sendo apenas secundário pelo consumo de água, assumindo por isso um papel muito importante na economia dos países.

5.1 Projectos de investigação

- DIRECT-MAT

“Dismantling and RECYcling Techniques for road MATerials – sharing knowlege and practices”

Este projecto tinha como objectivo a partilha de conhecimento de experiencia na área da desconstrução e reciclagem de materiais relacionados com a estrada.

Era um projecto Europeu de 3 anos de forma a facilitar a partilha de conhecimento sobre a experiencia na desconstrução e reciclagem dos seus elementos em estudo.

Tendo como objectivo comum um Guia Europeu de Boas Praticas para a reciclagem e eliminação de materiais relacionados com a estrada.

Neste projecto participaram 20 instituições provenientes de 15 países Europeus, dos quais; Áustria; Bélgica; Republica Checa; Dinamarca; França; Alemanha; Hungria; Irlanda; Polónia; Portugal; Sibéria; Eslovénia; Espanha; Suécia; Holanda.

- PROJECTO LIFESURE

“Self-sustaining Urban Roads: a way to improve Environmental performance of urban areas”

Ou seja, “Estradas Urbanas auto sustentáveis: uma forma de melhorar o aumento do desempenho ambiental das áreas urbanas”.

O objectivo principal deste projecto é o desenvolvimento de tecnologia que permita o fabrico eficiente de misturas betuminosas com uma taxa de incorporação de reciclado de 100%, na camada de base e sub-base por forma a contribuir para a sustentabilidade do património urbano das estradas através da revitalização de materiais de alta qualidade, baixo consumo de energia e produção de baixos níveis de emissão.

- PROJECTO FENIX

Este projecto representa o maior esforço em I&D na área de pavimentação de estradas. De acordo com um relatório recente publicado pela EAPA a Espanha é o 2º maior país produtor de misturas betuminosas.

Tendo sido neste contexto que nasceu o projecto em virtude da investigação estratégica em estradas mais seguras e sustentáveis.

Este projecto tem a duração de 4 anos e encontra-se estruturado em torno de 12 tipos de pesquisas que vão desde o desenvolvimento de nanomateriais activos na redução das emissões de veículos, o desenvolvimento de novas tecnologias de produção em centrais mais eficientes, desenvolvimento de novas misturas betuminosas obtidas por processos mais amigos do ambiente, desenvolvimento de sistemas pró-activos de segurança rodoviárias ou uso de energia da radiação solar.

É sem dúvida alguma, um projecto ambicioso que pode permitir um avanço na concepção, sustentabilidade e segurança das estradas.

- PROJECTO POLYMIX

Os resíduos de polímeros nas misturas betuminosas são uma forma de aumentar a sustentabilidade das infra-estruturas das estradas.

O projecto Polymix tem como objectivo demonstrar a viabilidade técnica e económica de novas misturas incorporando resíduos de polímeros na sua composição.

Neste projecto utilizam-se resíduos de polietileno; poliestireno; polipropileno e de borracha são utilizados para a construção de estradas, melhorando o seu comportamento mecânico enquanto beneficiam o meio ambiente.

- PROJECTO GREENROAD

Este projecto visa melhorar a sustentabilidade da construção da infra-estrutura da estrada e servir de exemplo para a implementação de iniciativas sustentáveis no sector. Este visa demonstrar técnica e economicamente a utilização em mistura betuminosas de cerca de 90% de materiais reciclados na sua formulação. Para atingir este objectivo, o projecto reincorporará resíduos

industriais próprios das indústrias da região, como a escória de aço, resultantes da reciclagem de pneus usados.

O projecto propõe o desenvolvimento e validação de misturas betuminosas produzidas a partir de escória de resíduos resultantes da moagem de aço dos pneus usados.

- PROJECTO DURABROADS

Este projecto tem como objectivo pesquisar e desenvolver pavimentos com maior resistência às solicitações colocados pelas alterações climáticas e aumento de tráfego pesado.

Ao longo do projecto serão analisados, caracterizados e seleccionados nanomateriais de carbono mais apropriados para o desenvolvimento de diferentes betumes modificados.

A partir das propriedades melhoradas dos betumes, incluindo material reciclado e subprodutos industriais para substituição de agregados naturais.

6. TIPOS DE REUTILIZAÇÃO/REENCORPORAÇÃO/RECICLAGEM

Existem várias técnicas de reciclagem que se distinguem essencialmente quanto ao local onde se realiza o processo.

Podem ser desde já definidos dois tipos de reciclagem: “*in situ*” e em central, como pode ser observado na figura 12.

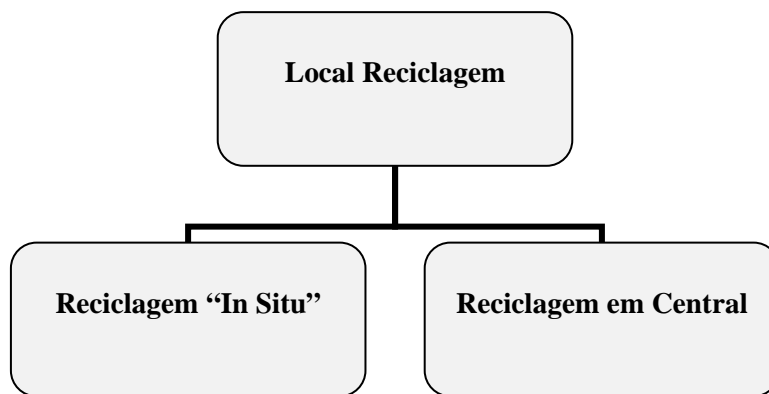


Figura 12 – Classificação de técnica de reciclagem de acordo com o local

Associadas a ambas as técnicas há vantagens e desvantagens que passam a ser resumidas na tabela 4:

	Vantagens	Desvantagens
Reciclagem “In Situ”	<ul style="list-style-type: none"> • Evita o transporte dos materiais fresados para outro local • Reduz a degradação dos pavimentos das estradas utilizadas pela obra • Dispensa os depósitos provisórios • Em alguns casos terá menores consumos energéticos • Em alguns processos pode provocar menor ruído e menos poluição atmosférica • Tempo de execução do processo é menor • O investimento total em equipamento é inferior ao processo em central • Alguns processos serão mais económicos • Aproveita e integra todos os materiais existentes no pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • O rigor no tratamento não pode ser idêntico ao longo de toda a obra • As condições locais podem afectar a qualidade de execução do trabalho • Está dependente das condições atmosféricas • Equipamentos com avarias no local da obra com acesso mais lento às oficinas • Interferências com o tráfego maiores em alguns casos
Reciclagem em Central	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da qualidade da mistura obtida e maior facilidade na recepção e aprovisionamento dos ligantes e eventuais materiais correctivos num local fixo, o que poderá atenuar a principal desvantagem, que é o acréscimo do custo resultante do transporte • Maior fiabilidade no produto obtido 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo adicional de transporte do material a reciclar, do local da obra para a central e desta para o local da obra

Tabela 4 - Reciclagem “*in situ*” Vs Reciclagem em Central

Nas empreitadas nacionais, segundo as disposições normativas do INIR, podem ser utilizados os seguintes tipos de reciclagem:

- Reciclagem em central a quente de camadas de misturas betuminosas envelhecidas;
- Reciclagem em central semi-quente de camadas de misturas betuminosas;
- Reciclagem “*in situ*” a quente com betume espuma;
- Reciclagem “*in situ*” a frio com emulsão betuminosa;
- Reciclagem “*in situ*” a frio com cimento.

No entanto existe uma maior abrangência de estudos já realizados no que refere a técnicas de reabilitação de pavimentos as quais serão indicadas:

- Reforço de pavimentos com misturas betuminosas de alto módulo;
- Reforço de pavimentos com misturas com betumes modificados com polímeros;
- Reforço de pavimentos com misturas betuminosas com borracha reciclada de pneus;
- Reforço de pavimentos com misturas betuminosas a frio;
- Reciclagem de pavimentos flexíveis:
 - Reciclagem a frio “*in situ*”;
 - Reciclagem a quente em central;
 - Outras técnicas (reciclagem a quente “*in situ*” reciclagem semi-quente, etc);
- Reforço de pavimento adoptando técnicas anti-flexão de fendas.

Para determinar o processo de reciclagem a utilizar, deve-se ter em conta todas as variáveis, nomeadamente o tipo e estado do pavimento, e os meios disponíveis para a execução da reciclagem, uma vez que podemos recorrer a diferentes técnicas: a frio ou a quente, “*in situ*” ou em central, e com ligantes (betume asfáltico, emulsão betuminosa ou cimento).

Perante a necessidade de actuar no pavimento existem várias formas de intervenção, as quais estão resumidas na figura 13 e serão desenvolvidos neste trabalho.

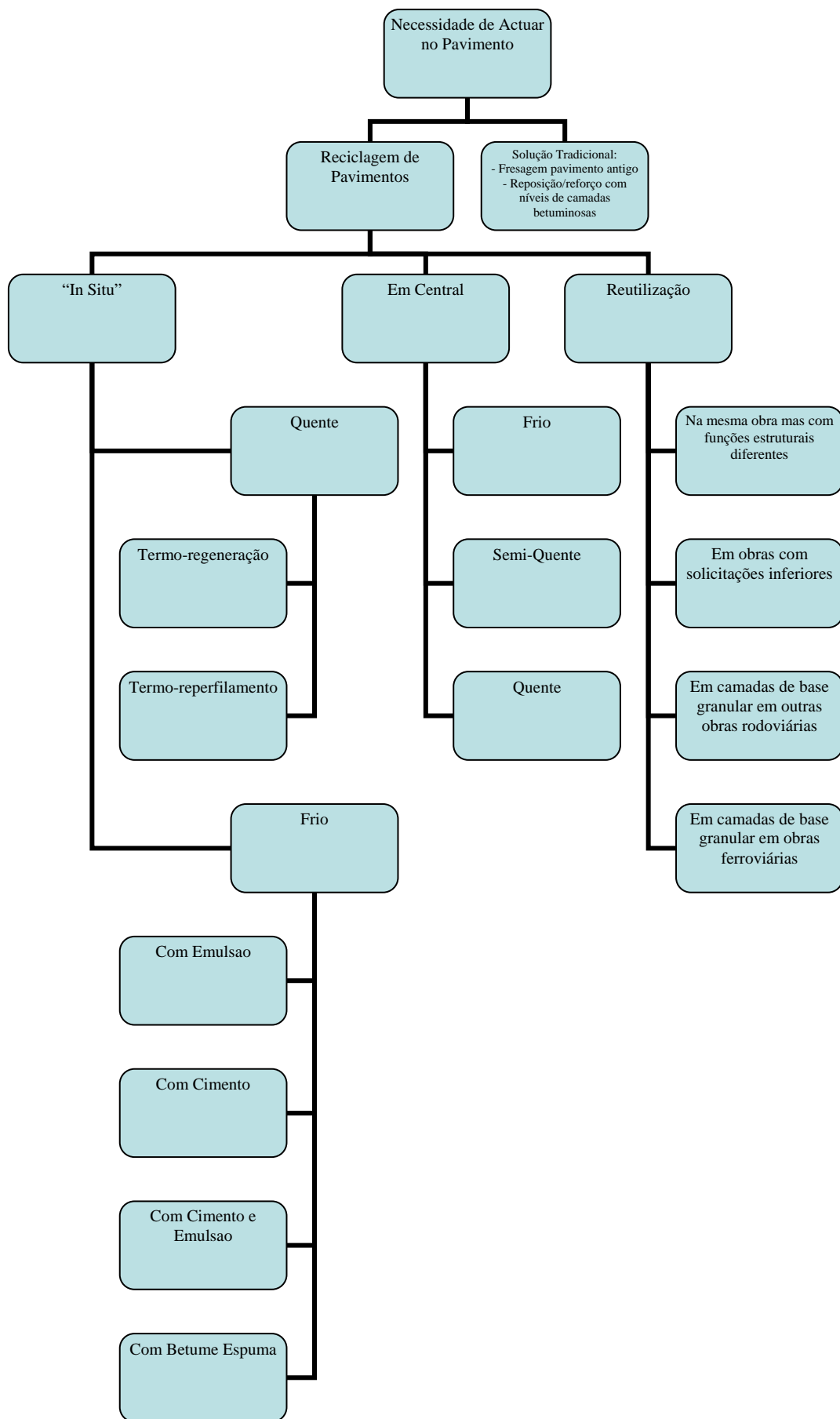


Figura 13 – Várias formas de Intervenção num Pavimento

6.1 Reciclagem “In Situ”

A reciclagem “*in situ*” foi a primeira técnica a ser utilizada em Portugal, sendo a mais conhecida e desenvolvida no nosso país por utilizar equipamentos simples.

Este processo consiste em fresar o pavimento existente numa espessura determinada, e no mesmo local, misturar e homogeneizar o material resultante com um ou vários ligantes, sem aquecimento, colocando-o e compactando, sendo sempre assegurada a espessura desejada da camada.

Com este processo o material da construção inicial, desagregado, é assim reciclado processado formando uma nova camada de pavimento com resistência melhorada.

Os equipamentos necessários à realização desta técnica de reciclagem “*in situ*” a frio são no mínimo: uma máquina recicladora, cisternas para água e ligantes, motoniveladora e cilindros, os quais formam um “comboio”, sendo normalmente denominado por “comboio de reciclagem”.

De forma a garantir a homogeneidade da camada, a máquina recicladora, exemplificada na figura 14, deverá avançar a uma velocidade lenta e uniforme, avanço este que estará condicionado pelas características dos materiais existentes e pela profundidade no processo de reciclagem.



Figura 14 – Equipamento de Reciclagem “*in situ*” (Fonte: Wirtgen)

Na verdade esta técnica permite alcançar taxas de reciclagem de 100%.

A técnica de reciclagem “*in situ*” a frio poderá ser executada nas vertentes: com cimento, com emulsão betuminosa ou com betume-espuma. Dependendo do ligante utilizado, a camada de base reciclada apresentará determinadas características estruturais.

Este processo de reciclagem “in situ” terá sempre de ser complementado com a colocação de camadas superiores em misturas betuminosas fabricadas a quente em central, de modo a dotar o pavimento das características superficiais necessárias à circulação do tráfego, daí que este tipo de reciclagem, para além de reabilitar estruturalmente o pavimento, possibilite também a melhoria das características superficiais. É efectuada uma camada de mistura betuminosa de espessura da ordem dos 5 a 6 cm conforme o tipo e volume de tráfego.

6.1.1 A Frio com Cimento

A reciclagem “in situ” a frio com cimento, é especialmente indicada para pavimentos que apresentem uma forte insuficiência estrutural.

A utilização do cimento irá incrementar a capacidade de suporte do pavimento, sem que para isso seja necessário recorrer a uma camada com elevada espessura.

A reciclagem “in situ” a frio com cimento é indicada para situações em que o pavimento a reabilitar apresenta degradações com elevada extensão, ou em casos em que existem restrições de subida de cota do pavimento.

Este método consiste no rejuvenescimento/reforço de pavimentos com a reutilização parcial ou integral dos materiais constituintes das camadas de misturas betuminosas e materiais granulares, que após sujeitos a um processo de desagregação por fresagem são misturados e homogeneizados com cimento, água e eventualmente com aditivos e agregados correctivos, que por sua vez serão apropriadamente espalhados e compactados.

Deverão ser empregues equipamentos mecânicos que numa só operação fresem, incorporem cimento e água, dosificando-os nas percentagens definidas, misturem o material fresado e o espalhem. O equipamento de fresagem é composto por uma ou mais máquinas fresadoras (figura 15). Estas são dotadas de um tambor de fresagem de eixo horizontal que deverá ser capaz de fresar o pavimento existente na espessura e largura especificados, produzindo um material homogéneo com a granulometria requerida. Tudo isto deverá ser feito numa só passagem, a uma velocidade constante adequada.

A espessura das camadas em mistura a tratar com esta técnica não deve ultrapassar 1/3 da espessura global.



Figura 15 – Fases da Reciclagem “in situ” a frio com cimento (Costa-Baptista 2006)

Após a compactação da camada reciclada, dever-se-á proceder à cura da camada, por forma a proteger do tráfego o material tratado, não devendo circular qualquer tipo de trânsito sobre a camada durante um período de 7 dias.

A mais-valia da utilização do cimento como ligante na reciclagem, resulta na obtenção de camadas recicladas com características de resistência elevadas, sem que para tal seja necessário recorrer a espessuras elevadas.

6.1.2 A Frio com Emulsão Betuminosa

Este processo apenas difere do anterior quanto ao ligante utilizando, que neste caso é uma emulsão betuminosa, aos quais se adiciona emulsão e água. Nalguns casos poderá ser necessário a adição de material correctivo, como cimento e/ou cal, para que a mistura de agregados final apresente as características desejadas.

A utilização de ligante diferente em relação ao da técnica anterior, vai determinar algumas alterações, nomeadamente quanto aos meios necessários à sua execução, quanto à exigência de determinadas condições meteorológicas, onde deve predominar o tempo seco para permitir a rotura da emulsão, e quanto às características do pavimento. É um processo mais caro, porque a emulsão é geralmente mais cara que o cimento. A velocidade de deslocamento da recicladora e a consequente rotação do tambor fresador influenciam a granulometria do material resultante da fresagem. Para a execução desta técnica são utilizados “comboios” constituídos por uma máquina recicladora acoplada às cisternas de água e de emulsão (figura 16).

Os trabalhos envolvem as seguintes fases construtivas:

- Espalhamento do material correctivo (cimento, agregados e cal) se previamente estabelecido na formula de trabalho. Presentemente existem equipamentos que permitem a adição da cal ou cimento imediatamente antes da passagem da máquina recicladora;
- Passagem de máquina recicladora juntamente com as cisternas de água e emulsão, onde se pretende: fresagem do pavimento existente até à profundidade estabelecida, adição

continua do ligante betuminoso, e água se necessário, mistura do material desagregado com os materiais adicionados, espalhamento da mistura;

- Compactação da mistura.

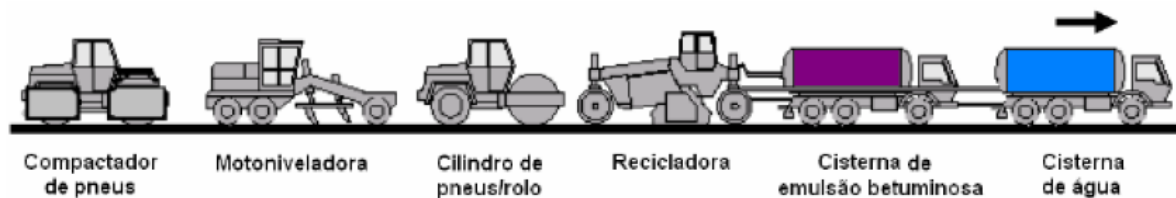


Figura 16 – Fases da Reciclagem “in situ” com emulsão betuminosa (Costa-Baptista 2006)

É importante garantir uma boa ligação entre a emulsão escolhida e o material a tratar, para que a camada reciclada futuramente não apresente anomalias que comprometam o sucesso da reciclagem.

Este tipo de reciclagem visa recuperar camadas de desgaste envelhecidas em pavimentos com valor estrutural adequado às condições de traficabilidade.

A espessura das camadas a reciclar são geralmente de 12 a 15 cm, não sendo aconselháveis espessuras superiores que possam impedir a cura da emulsão betuminosa, bem como devido ao aumento dos custos, uma vez que a emulsão é mais cara que o cimento. Tratamento com espessuras menores, 5 a 6 cm, é possível não com o objectivo de melhorar a capacidade de suporte do pavimento, directamente, mas para efeitos de impermeabilização do pavimento.

Neste método existe um período inicial de cura durante o qual a água vai sendo eliminada e a camada vai ganhando coesão e resistência. Só após este período é que apresentará as características para as quais foi dimensionada. Daí que devido à grande susceptibilidade às condições climáticas, este método deve ser realizado preferencialmente na Primavera ou no Verão, para que o período de cura ocorra em condições favoráveis.

A utilização deste tipo de misturas com recurso a emulsão betuminosa permite obter uma camada reciclada com maior flexibilidade relativamente às camadas tratadas com cimento, o que se adequa melhor quando aplicadas sobre suportes com maiores ou menores deformações ou fendilhações.

É importante referir que o teor de humidade, granulometria dos agregados e factores climáticos são limitações ao processo. Por outro lado, pretende-se que o material reciclado tenha características de camada de base, pelo que não podem ser utilizados como camada de desgaste.

6.1.3 Com Espuma de Betume

Este processo é idêntico aos anteriores, diferindo apenas quanto ao ligante utilizado que neste caso é o betume-espuma, produzindo um pavimento de alta qualidade, durável e flexível com um desempenho excepcional e resistente aos efeitos de climas extremos.

A espuma de betume é produzida através da adição de pequenas quantidades de água fria, geralmente da ordem de 2 a 3% da massa de betume, a betume quente (temperatura acima dos 170°C). Quando se junta água ao betume, a água evapora-se rapidamente, levando o betume a formar uma espessura, cujo volume pode ser cerca de 20 a 30 vezes superior ao volume inicial do betume.

Durante este processo aumenta a superfície específica e diminui significativamente a viscosidade, o que se traduz numa melhoria da capacidade de revestimento dos materiais a serem tratados. A espuma constitui um sistema coloidal em que a fase dispersa é um gás (vapor de água) e a fase contínua é o betume. Este processo tem lugar numa câmara de expansão, na qual a água é injectada no betume quente a uma pressão de aproximadamente 5 bar. A espuma produzida sai da câmara de expansão através de um bico injector, sendo imediatamente misturada com o material desagregado no tambor de fresagem e mistura da máquina recicladora.

O processo envolve o acoplamento de um tanque de betume, de um tanque de água e de um compressor ao equipamento de reciclagem. O betume quente é bombeado desde o tanque de betume até a recicladora, através de mangueiras utilizadas para o efeito, e é injectado juntamente com uma determinada quantidade de água através da barra pulverizada, localizada na proximidade do rolo misturador. A água, em contacto com o betume quente, provoca a expansão deste, formando uma espuma de betume que se mistura com o material do pavimento. Posteriormente executam-se as operações de nivelamento e compactação da camada (figura 17).

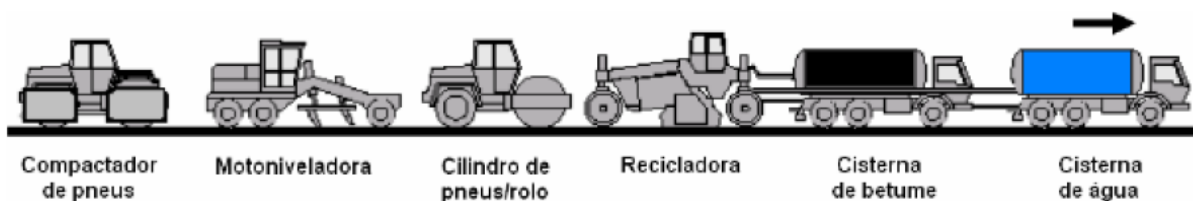


Figura 17 – Fases de Reciclagem “in situ” a frio com espuma de betume (Costa-Baptista 2006)

Estudos já realizados constataram que esta técnica de reciclagem mostra ser uma boa alternativa técnica e económica às soluções tradicionais, permitindo a obtenção de uma nova camada estrutural mais resistente às deformações plásticas e durável, mesmo em situações de climas extremos.

Sendo as perturbações do trânsito mínimas, a reposição da circulação é imediata, podendo iniciar logo após proceder-se ao reperfilamento da via, sem qualquer inconveniente ou perda de resistência por parte do material, desde que a percentagem de água utilizada na compactação se mantenha.

6.1.4 A Quente

A reciclagem "*in situ*" a quente, muitas vezes conhecida por termo-regeneração, termo-reperfilagem.

Este processo de reciclagem difere do anterior no que diz respeito à temperatura de execução, ao tipo de ligante e ao equipamento principal de reciclagem. Em relação ao ligante utilizado, é em geral um betume com rejuvenescedor, ou mesmo betume puro.

Esta técnica não permite a reabilitação das características estruturais de pavimentos flexíveis degradados, permite apenas a reabilitação das características funcionais do pavimento ao nível da camada de desgaste, não podendo ser utilizado em situações que o pavimento apresente defeitos a nível das camadas estruturais.

Quanto ao ligante, é geralmente usado um produto rejuvenescedor, que contém os componentes do betume que se perderam como consequência do ser envelhecimento, devolvendo ao betume as suas características (químicas e físicas) perdidas. Consoante a composição do betume envelhecido, teremos a composição do rejuvenescedor, uma vez que se trata de produtos feitos à medida para as circunstâncias concretas de cada projecto (figura 18).

Os equipamentos utilizados são extremamente grandes e de difícil movimentação, sendo esta uma desvantagem deste processo causando custos elevados e dificuldade de transporte dos equipamentos, para além de ser uma técnica complexa. Este tipo de reciclagem não é viável em Portugal.



Figura 18 – Fases da Reciclagem “in situ” a quente (Costa-Baptista 2006)

Segundo o USDD (2001), a qualidade das misturas betuminosas recicladas “in situ” a quente é difícil de controlar, por estar muito dependente de variados factores, nomeadamente, profundidade de reciclagem, tempo de exposição do pavimento aos pré-aquecedores, quantidade e natureza do produto rejuvenescedor e ainda do processo de compactação da camada reciclada. Estando este processo limitado a espessuras máximas de 7 cm.

Neste caso de reciclagem “in situ”, podem-se distinguir dois processos:

- Termo – reperfilagem, que consiste apenas no aquecimento do pavimento, seguido da sua compactação, tendo por objectivo selar as fendas existentes e repor, a regularidade do perfil longitudinal. Não há lugar à adição de novos materiais ou misturas. Neste processo pretende-se repor a regularidade do perfil longitudinal e a selagem das fendas.
- Termo – regeneração, compreende o aquecimento do pavimento, a sua escarificação, recomposição, nivelamento e compactação da nova camada, tudo numa só passagem. Após a reciclagem da camada existente é aplicada uma mistura nova com características de camada de desgaste.

Este processo apenas reabilita as características funcionais do pavimento não intervindo a nível estrutural, por isto a intervenção será somente a nível da camada de desgaste.

A adição de novos materiais correctivos está limitada a 30% da massa do material reciclado.

6.2 Reciclagem em Central

A reciclagem em central é um processo de regeneração ou aproveitamento de materiais fresados em qualquer trecho de estrada que engloba sempre as técnicas de fresagem, transporte do material fresado, armazenamento e produção.

6.2.1 A Frio

A reciclagem a frio em central não é um método muito utilizado. Normalmente as técnicas de reciclagem a frio são aplicadas “in situ”.

Nesta técnica de reciclagem o material é removido através de fresagem do pavimento realizado previamente e transportado à central de produção, onde é misturado à temperatura ambiente com um ligante (figura 19).

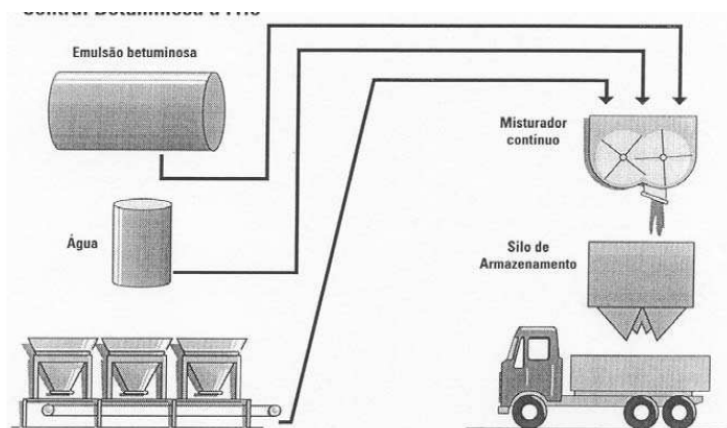


Figura 19 – Central Betuminosa a Frio (adaptado EAPA de 1998)

A vantagem associada a esta metodologia está ligada ao maior controlo da qualidade na adição do ligante no processo da mistura.

Os ligantes utilizados nesta técnica podem ser emulsão betuminosa ou a espuma de betume. O processo construtivo é idêntico para os dois ligantes, variando apenas no que diz respeito à forma de obtenção de espuma de betume.

Com esta técnica de reciclagem não há possibilidade de reciclar todo o material fresado proveniente do pavimento flexível, e nas centrais descontínuas, com este método a percentagem de reciclagem não vai além dos 30%.

6.2.2 Semi-Quente

À semelhança das técnicas em central, o material fresado é transportado para junto da central, depois de transportado à central, o material é misturado com uma catiónica de rotura lenta com betume aditivado.

A mistura é aquecida, como na reciclagem em central a quente. O aumento da temperatura conduz a uma redução da viscosidade do betume da emulsão, embora que temporária, que permite um aumento da trabalhabilidade da mistura e um melhor revestimento dos agregados.

A vantagem deste processo em relação à reciclagem “in situ” com emulsão betuminosa é não necessitar de tempo de cura, assim, logo após o espalhamento do material reciclado o pavimento está pronto a ser usado.

Este tipo de reciclagem em central semi-quente permite alcançar taxas de reciclagem até 100% do material fresado.

6.2.3 A Quente

A reciclagem a quente tem um grau de complexidade idêntico ao da produção de misturas betuminosas tradicionais a quente.

As centrais de reciclagem de misturas betuminosas a quente compreendem uma sequência de etapas principais das quais:

- Secagem;
- Aquecimento dos agregados;
- Mistura dos agregados com o filler e betume;
- Transporte para o local da obra ou o armazenamento em silos.

A técnica de reciclagem a quente em central consiste na incorporação de resíduos de misturas betuminosas (RA – reclaimed asphalt) para produção de misturas betuminosas a quente.

As misturas betuminosas recuperadas (RA) podem ter proveniência de desagregação de pavimentos betuminosos; por fresagem (Figura 20) e/ou demolição (extração de placas de pavimento posteriormente britadas (Figura 21)) ou materiais excedentários de misturas betuminosas.



Figura 20 – RA proveniente de fresagem



Figura 21 – RA proveniente de demolição

A qualidade das misturas realizadas com os materiais reciclados deve ser comparada à das realizadas com misturas novas.

As misturas recicladas em central podem ser utilizadas no novo pavimento reabilitado em camadas de base, regularização e em camada de desgaste.

O fabrico deste tipo de misturas é realizado no mesmo tipo de centrais “fixas” que as utilizadas para o fabrico das misturas a quente convencionais, sendo, no entanto, necessário introduzir algumas modificações às referidas centrais por forma a adaptá-las para esse efeito. Existem diversos processos das misturas betuminosas a quente, ao fabrico de misturas que incorporam materiais fresados, em função do tipo de central (continua ou descontínua) e da percentagem de materiais fresados que se pretende incorporar na mistura.

Um dos aspectos importantes a ter em consideração no processo de fabrico das misturas betuminosas recicladas a quente, tem a ver com o sistema adoptado para o aquecimento deste material, influenciado as percentagens permitidas para incorporar no fabrico de misturas betuminosas a quente.

Independentemente do tipo de central e método de adição escolhido para o processo, o importante é garantir que os agregados provenientes da fresagem nunca entrem em contacto directo com a chama do queimador.

Actualmente, as centrais mais comuns em funcionamento no mercado permite a incorporação de 10% a 50% ou de 10% a 70% do material a reciclar, respectivamente para o caso das centrais contínuas ou centrais descontínuas.

Os países Europeus com maior utilização de materiais reciclados por processos a quente em central são a Alemanha, Bélgica, Dinamarca e Holanda.

Conforme se pode constatar da análise da tabela 5, a percentagem de misturas fresadas utilizadas é já bastante elevada num número considerado de países europeus.

Na Áustria a incorporação de uma mistura fresada na produção de misturas betuminosas com reciclagem a quente é já de 95% enquanto na Alemanha e Holanda atingem 87% e 80% respectivamente. Nesta técnica as percentagens de materiais a reciclar presentes nas misturas betuminosas produzidas (taxa de reciclagem) não ultrapassam os 50% a 60% e os betumes utilizados são geralmente betumes menos duros. Actualmente, o grande desenvolvimento no campo da tecnologia de centrais betuminosas e no aparecimento de novos tambores misturadores impulsionaram bastante esta técnica e permitem a utilização de maiores percentagens de material a reciclar. Para alguns países como a Alemanha (atingiu 97 % em 2012) o Japão (70%) e o Canadá (75%) a produção de misturas betuminosas que contem material a reciclar representam já a maior parte da produção de misturas betuminosas.

Em Portugal a técnica de reciclagem a quente de misturas betuminosas ainda é pouco utilizada fundamentalmente pelo desconhecimento e insegurança técnica que lhe estão associadas. No entanto existem já algumas experiencias realizadas.

<div> <div>Ano</div> <div>País</div> </div>	Materiais disponíveis (x10 ³ ton)						Percentagem utilizada em reciclagem a quente (%)						Percentagem utilizada em reciclagem a frio (%)						Percentagem da produção de novas misturas que contêm material reciclado (%)					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Áustria		500	450000	450	550	600			5	5	10	10					10	10	3	5	5	5		5
Bélgica	1500	1500	1500	1500	1500	1300	20-45	29	35	38	40	50							25	31	30	32	36	36
Croácia	20000	50	50	70			0	5	25	29									10	10-15				
Rep. Checa	710	354	550	554,38	425	604	10-40	10-40	10-40			30						50	16	18	10-15	15		10
Dinamarca	220	237	293	271	218	240	57	54	65	77	83	>80							31	36	47	46	48	53
Finlândia	200	370					40	20											5-10	<10				
França	<5000	5000	5100	6500	6500	6500	10-45	10-45	10-45	13	13	13					<2	<2	<10	>15	<10	<10	<10	<10
Alemanha	15000	15000	14000	1400	14000	14000	15-80	80	82		82	82					18	18	60-65	20	21	60	60	60
Hungria	1200						0,3	15	15	15	15	15					0	0		0,43	0,48	0,5	0,6	0,6
Islândia	5						0			0									0			0		
Irlanda	-	10	20	25	36	48	-	0	30	30	35	38					0	0	-	0	>1	<1	1,5	2,1
Itália	13000	13000	14000	14000	14000	14000	15	15	18	18	18	18						2	5	5	5,9	6,5	7	
Holanda	30000	3500	4000	3800	3000	3400	70	60-70	60	60	75	80						20	60	60-65	58	65	63	65
Noruega	520	471	263	288	409	590	6	19	17	18	23	7					20	26	4	7	10	10	10	8
Polónia	750	750	900	900	1080	1000	15-30	15-30	15-30	15-30	4	4					55	55	0,3	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2
Roménia	80	383					20-40												40					
Eslováquia	5		11	8	123	1																		
Eslovénia	50	10	20	10	22	22	60	0	40		50	50						10	15	3	3		15	15
Espanha				1638	2250	690				11	8	30					4	15				4,5	3,5	5
Suécia	1000	900	750	800	750	650	15	15	15	15	40	50					60	50	019	20	20	25	25	40
Suíça	1750	1900	2100	2300	900	945	15	17	19	20	50	50					50	50						
Reino Unido	5000		5000	5000	4500	5000																<10		
Luxemburgo						200						90						10						60
Portugal																								
Turquia																								
Japão	43400	30000	29621				33	49	48,7											64	67,4		71,4	73,2
Canadá	1500	2,5	2500	1500	3000	3000	30		50	50	60	50					0	15	35	20	30	60		40
USA						90000						80**												

Legenda: em branco → não há dados / “-” → numero insignificante / “...*” → não previsto mas estimado

<div> <div>Ano</div> <div>País</div> </div>	Materiais disponíveis (x10 ³ ton)						Percentagem utilizada em reciclagem a quente (%)						Percentagem utilizada em reciclagem a frio (%)						Percentagem da produção de novas misturas que contêm material reciclado (%)					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Áustria	1500	350	400	500	550	750	10		85	80	90	95	15		5	8	5	3						
Bélgica	1300	1500	1300	1500	1500	1500	50	55	57	57	65	61						Sd	38	44	44	47	50	49
Croácia			13	75											100									2
Rep. Checa	650	1500	1500	1650	1500	1400	50	25	20	15	14	22	35	30	30	35	35	30	10	10	10	10	10	10
Dinamarca	479	414	307	350	600	580	57	59	55	56	80	77	0	0	0				53	52	46	39	53	47
Finlândia		500	500	1000	1000	1000																65	65	65
França	6500	6500	7053	7080	7080	6500	13	23	41	40	45	62	<2	<2		Sd	Sd		<10	<10	6,8	sd	>30	>60
Alemanha	14000	14000	14000	14000	14000	11500	82	82	82	82	84	87							60	60	60	60	65	97
Hungria		27	3	44	64	100		26	66	12	100	93		18		15		7		5		10	30	46
Islândia		30	30	15	15	15														6	6	2,5	2,5	2,5
Irlanda	60	80	100	100	100	150	40	15	30	40	40	10	0			0	0	0	2,5	1,5	1	2	2	10
Itália	14000	13000	12000	11000	11000	10000	20		20	20	20	20							30	30				
Holanda	3500	3500	4500	4000	4000	4000	90	83	74	75	83	80		0,5			15	15	67	66	72	67	71	73
Noruega	615	720	763	750	726	787	8	11	12	15	18	18	26	10	12	12	2,90		6	9	7,3	8	10	13
Polónia		1100	1100	110	110	100		4	5	4	4	4								0	0,2	0,2	0,2	0,2
Roménia	20	18	13	40	13	20	60	60	60	40	60	30	15	10	15	20	15	30	5	15	12	<5	<8	5
Eslováquia						33						90						5						0
Eslovénia	20	25	15	26	10	10	50	51	30				10	49	50	20	20	20	15					
Espanha	1250	1150	1850	1590	1350	368	45	48	52	56	73	66	15	18	15	16	10	11	8	8	9	11		6,4
Suécia	900	1000	1000	1100	1100	1000	60	65	75	70	70	75	10	10	10	5	5	5	50	50	50	60	65	70
Suíça	980	1100	1200	1450	1750	1575	50	50	50	52	51	52	50***	50	50	18	19	17	17	19	17	21	23	24
Reino Unido	4000	4000	4000	4000	4500	4500																		
Luxemburgo	155			200	190	210	90				95	90	10				5	5	40				80	60
Portugal	400			2	2		60			15	60		0			5	5		30			25	20	
Turquia		1168	1069	2420	2809	3816	2	3		19	23	2						5		8	1	10	11	1
Japão																			72,5	73,3	70,1	72,9	73	70
Canadá	3500			4000	4000	3500	60			85	85	95	15						60					
USA	100000	100000		6650	71400	64000	95***	95***		84	84	95												
Venezuela	8970	345					0						16	100					0					

Tabela 5 - Quantidade de misturas betuminosas recicladas na Europa (EAPA)

A produção das misturas recicladas em central podem ser subdivididas em centrais contínuas ou centrais descontínuas conforme resumo na figura 22.

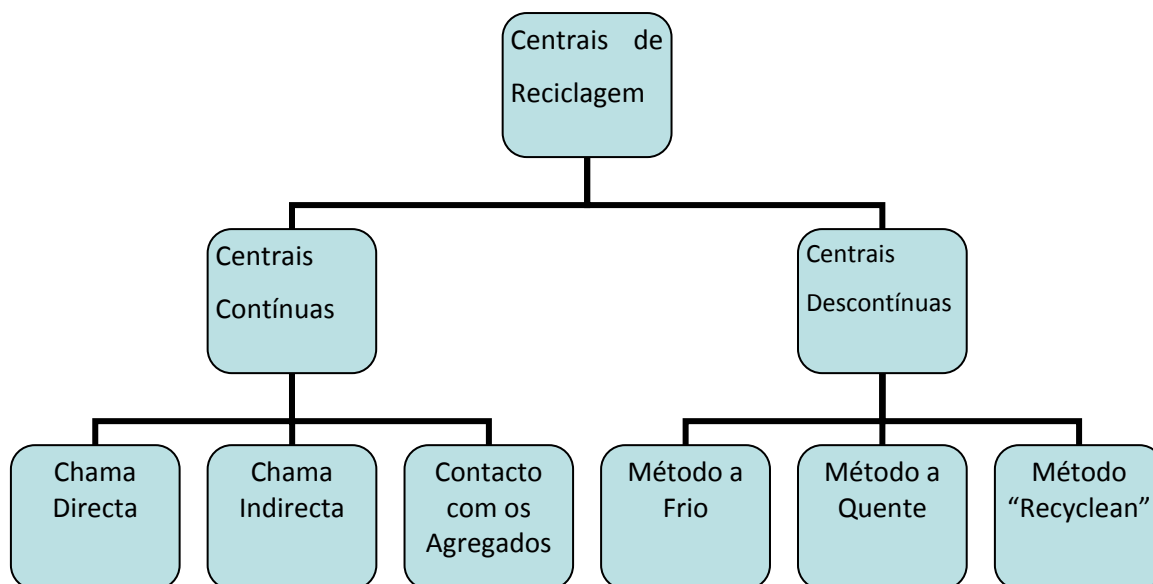


Figura 22 – Centrais de produção das misturas betuminosas recicladas

Centrais Contínuas

Nas centrais contínuas, antes de adicionar o betume, o material fresado pode ser aquecido no tambor-secador-misturador (TSM), directamente pelos gases de combustão quentes ou por contacto com os agregados sobreaquecidos.

O tipo de central contínua mais comum é a **RAP** (Reclaimed Asphalt Pavement), na qual utiliza dois processos de aquecimento: por chama directa e por contacto com agregados sobreaquecidos, utilizando um tambor secador misturador, ou de alimentação separada (figura 23).

Depois de processada, as misturas a reciclar são introduzidas na zona central do tambor e aí aquecidas duplamente.

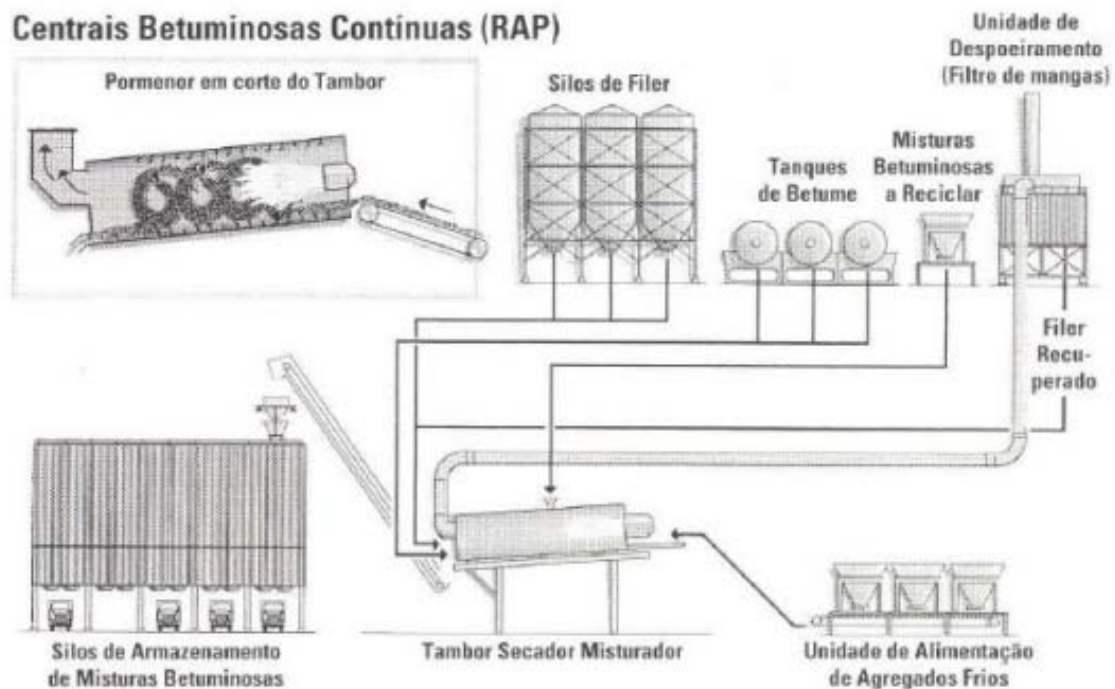


Figura 23 – Central Betuminosa Contínua – Método de alimentação separada (adaptado de EAPA 1998)

Neste processo conseguem-se alcançar taxas de reciclagem que variam entre os 30% e os 70%, sendo que esta taxa varia de acordo com a relação entre a qualidade da mistura a produzir e a da mistura fresada.

Outro tipo de central contínua é de **duplo tambor** (figura 24), na qual no tambor interior circulam os agregados. O material a reciclar é introduzido na zona superior do tambor exterior, caindo para o tambor interior pelas aberturas deste. Os agregados novos circulam no interior onde são secos, aquecidos e movimentados de acordo com a inclinação do tambor.

O aquecimento do material a reciclado é realizado por acção da chama indirecta e por contacto com agregados sobreaquecidos.

Centrais Betuminosas Contínuas de Duplo Tambor

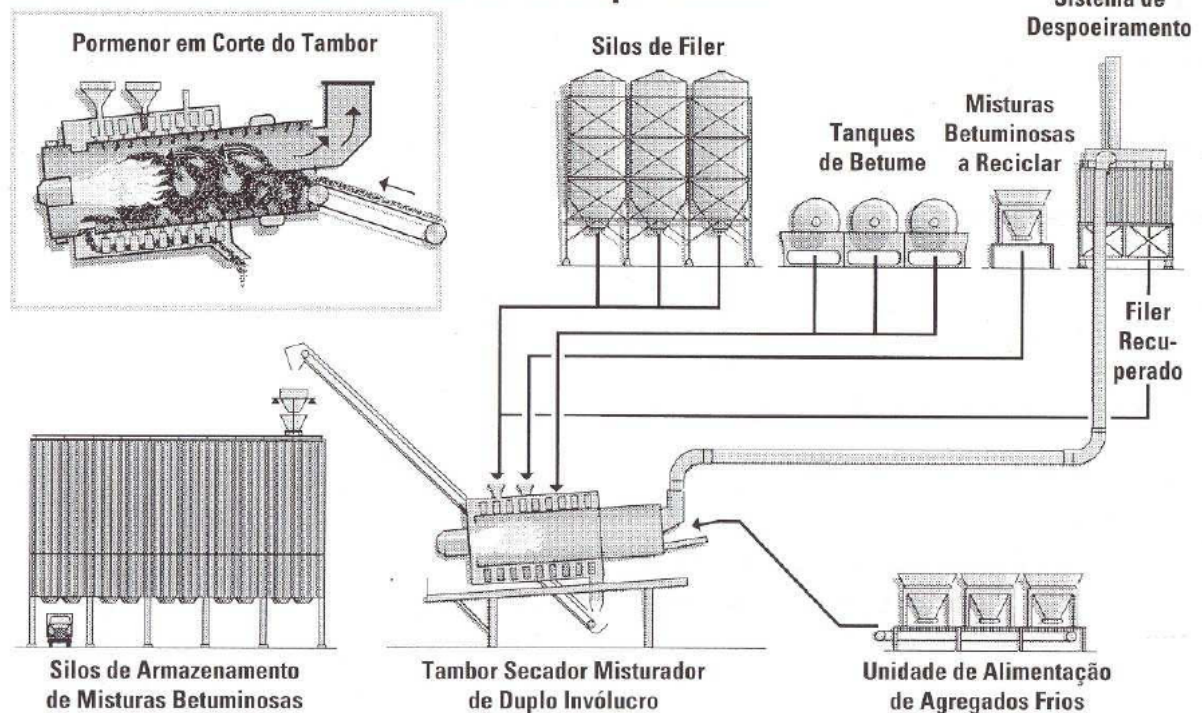


Figura 24 – Central Betuminosa Contínua duplo tambor (adaptado de EAPA 1998)

As centrais contínuas de **fluxos contracorrente** (figura 25) caracterizam-se pelo sentido do fluxo dos gases de combustão quentes serem contrários ao sentido de deslocação dos agregados.

O material a reciclar é introduzido num anel central localizado na zona central do tambor. A boca do queimador está localizada na extremidade de um tubo, que pelo facto de estar aquecido permite o aquecimento do material a reciclar. A extensão do tubo no interior do tambor é a necessária para efectuar esse aquecimento antes da mistura. Desta forma, o material a reciclar e o betume nunca estão em contacto directo com a chama ou os gases aquecidos.

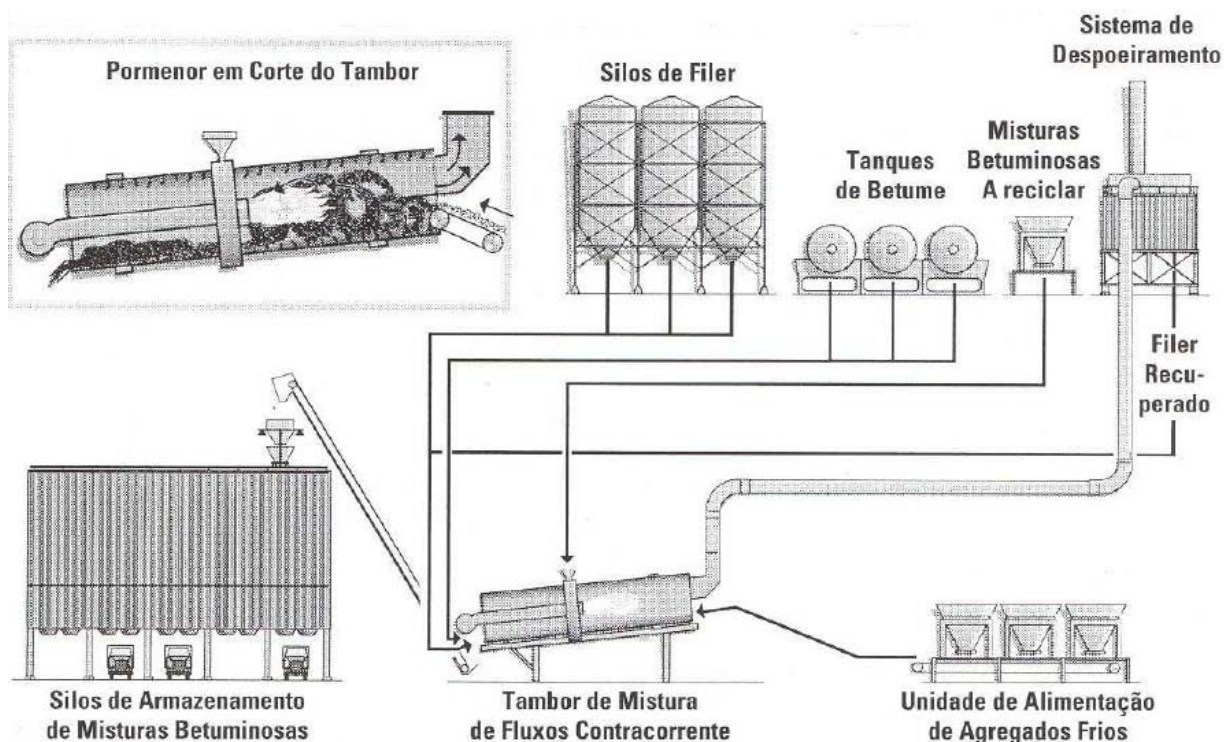


Figura 25 – Central Betuminosa Contínua – método de fluxos contracorrente (adaptado de EAPA 1998)

Centrais Descontínuas

As centrais descontínuas permitem a reciclagem a quente, a frio e reciclagem limpa, nos quais os materiais a reciclar têm de ser sempre britados e crivados nas dimensões adequadas, onde os materiais com maior granulometria são rejeitados (figura 26).

Nas centrais descontínuas são introduzidas algumas alterações para as habilitar de produzir misturas betuminosas com a introdução de material a reciclar. As técnicas incluem os métodos RAP a frio; RAP a quente; Recycleclean (reciclagem limpa) e a central de torre.

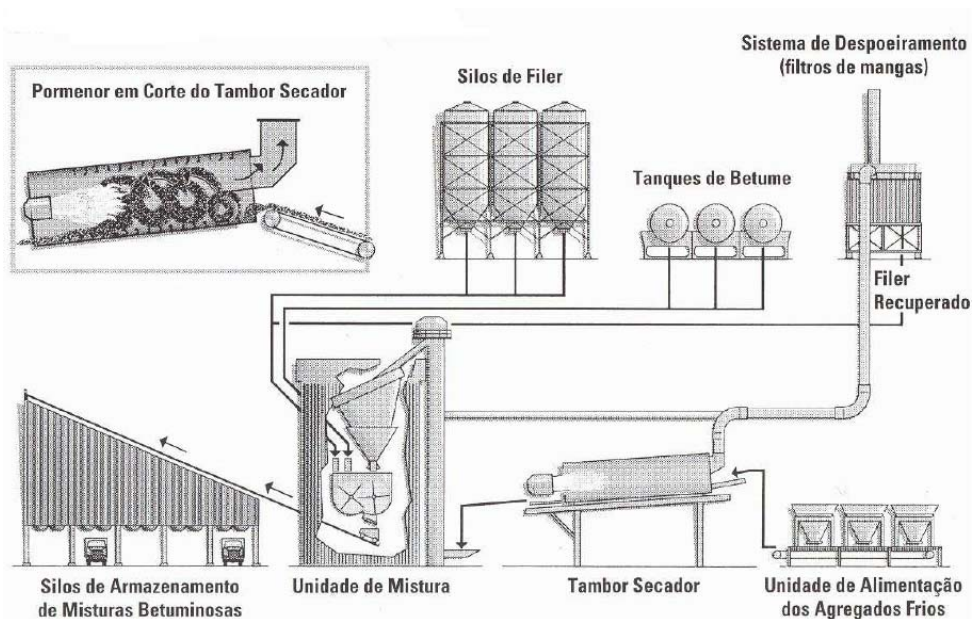


Figura 26 – Central Betuminosa Descontinua (adaptado de EAPA 1998)

Na técnica **RAP a frio** (figura 27) os materiais a reciclar são introduzidos na base do elevador de agregados quentes ou no próprio misturador. O aquecimento desse material é conseguido por contacto com os agregados novos sobreaquecidos.

Neste processo a taxa de reciclagem oscila entre os 10% e 30%

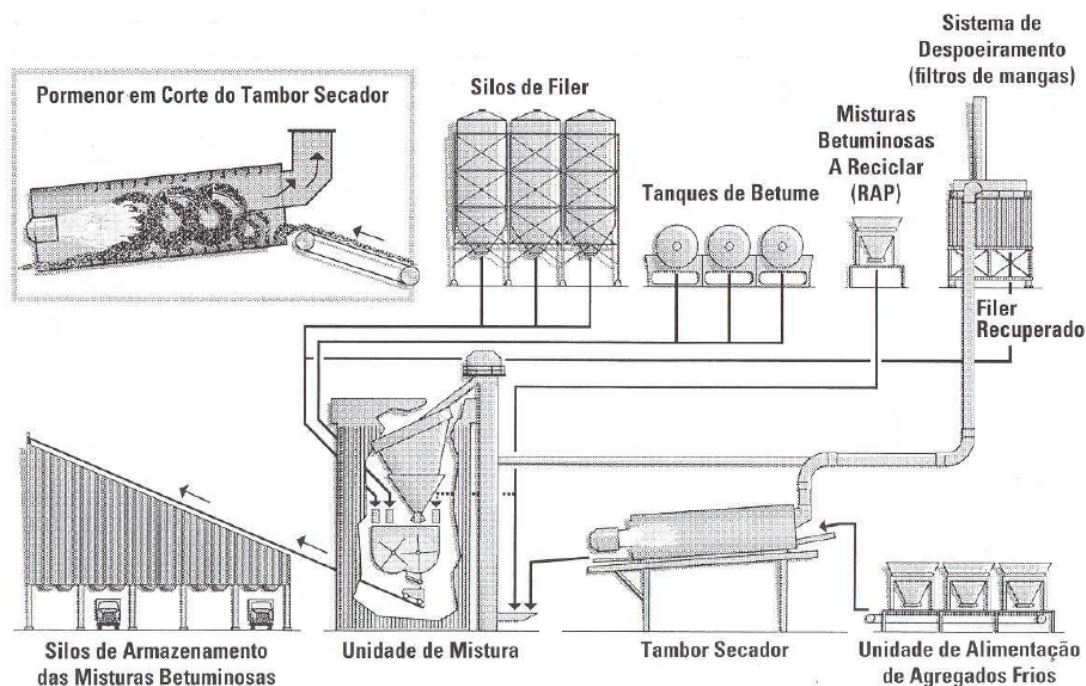


Figura 27 – Central Betuminosa Descontinua RAP a frio (adaptado de EAPA 1998)

No processo **RAP a quente** (figura 28) os agregados reciclados são pré-aquecidos e secos, posteriormente são transferidos para o misturador. A cada silo corresponde uma fracção granulométrica diferente de modo a serem doseadas para o silo misturador. Neste caso as percentagens de reciclagem podem oscilar entre os 30% e 70%.

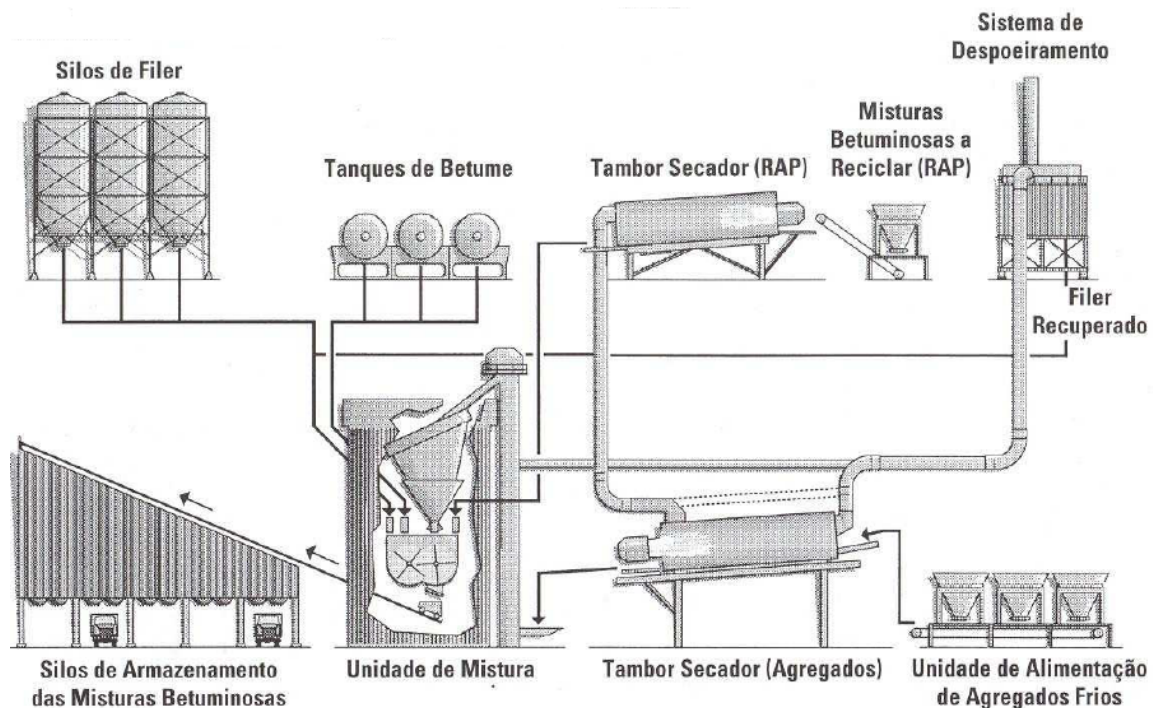


Figura 28 – Central Betuminosa Descontínua – método RAP a quente (adaptado de EAPA 1998)

Dentro do processo a quente existe o sistema **“Recyclelean”** (figura 29), no qual os agregados entram no tambor secador na extremidade enquanto o material fresado é introduzido no meio do tambor secador num anel central. Sem permitir o sobreaquecimento do material, a mistura reciclada é aquecida através da chama.

Este sistema permite taxas de reciclagem até 35%.

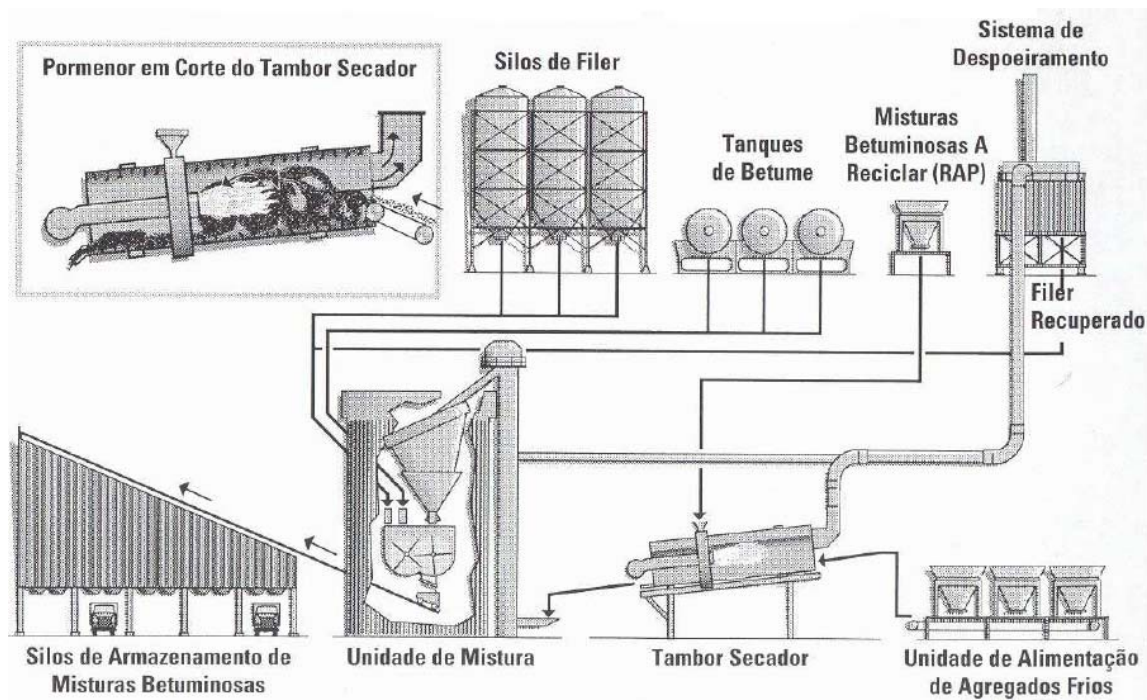


Figura 29 – Central Betuminosa Descontinua – método Recyclean (adaptado de EAPA 1998)

Na central de torre (figura 30) o processo de secagem e aquecimento dos agregados é realizado numa fase intermédia e independente do processo de mistura, e posteriormente colocados de acordo com a sua fracção granulométrica, em silos apropriadamente aquecidos e localizados por cima da unidade de mistura.

Esta central permite mudanças rápidas de fórmula de trabalho concedendo à central a possibilidade de fornecimento de misturas diferentes num curto espaço de tempo.

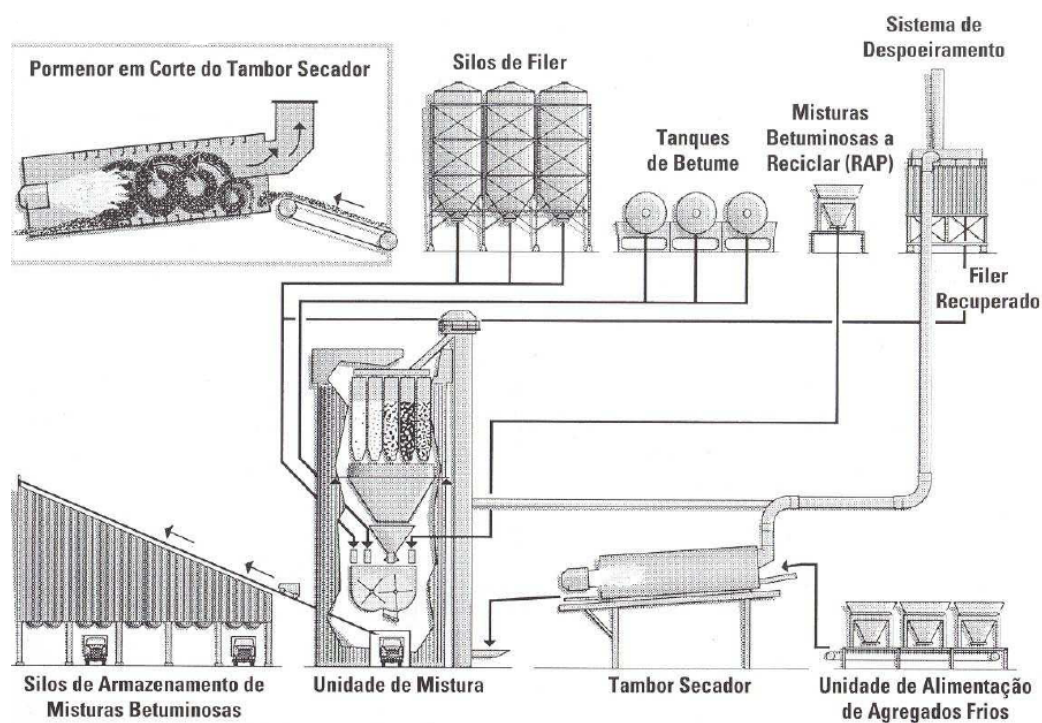


Figura 30 – Central Torre (adaptado de EAPA 1998)

A tabela 6 pretende resumir as técnicas de reciclagem existentes identificando para que tipo de degradação são mais adequadas.

Método de Reabilitação do Pavimento Flexível de acordo com o Tipo de Degradação			
Degradação	<i>In situ a quente</i>	<i>In situ a frio</i>	<i>Em central a quente</i>
Fendilhamento por fadiga	X	X	X
Exsudação	X		X
Ondulações		X	X
Deformação localizada	X	X	X
Fendas longitudinais		X	X
Polimento de agregados	X		
Degradação Superficiais	X		
Rodeiras	X		X

Tabela 6 - Método de Reabilitação de pavimentos flexíveis de acordo com a degradação (USDD 2001)

7. TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO

ARMAZENAMENTO

Os stocks das misturas fresadas são de vital importância para o processo construtivo uma vez que se tratam de materiais de produção menos controladas dos que, por exemplo, os materiais granulares provenientes das pedreiras. Este aspecto assume uma importância acrescida no caso em que os materiais a reciclar são provenientes de outras obras que não a obra onde vão ser utilizados. Os materiais provenientes da fresagem têm de ser tratados e misturados com vista à sua homogeneização e descontaminação. O tratamento envolve operações:

- Trituração de todos os blocos e bolas com o objectivo de que todo o material fique de dentro dos parâmetros das curvas do fuso granulométrico pretendido;
- Descontaminação detectando e eliminando por exemplo eventuais elementos metálicos;
- Misturar até se obter um produto homogéneo sem segregações.

De acordo com PIARC (2002), em termos de armazenamento dos diferentes materiais a reciclar, existem dois procedimentos principais para obter uma boa homogeneidade dos materiais e consequentemente uma homogeneidade e qualidade da mistura reciclada que são:

- Manter os materiais estritamente separados;
- Fazer uma mistura homogénea de todos os materiais que vão ser reciclados.

A armazenagem de misturas fresadas de forma separada é particularmente importante se as misturas betuminosas a produzir são mais nobres.

Se as misturas betuminosas recuperadas forem provenientes de diferentes locais com diferentes composições tem de se obter propriedades homogéneas. As misturas betuminosas fresadas a depositar em local de stock devem ser armazenadas em camadas horizontais, para que, se a colheita for efectuada na vertical em vários locais de stock (pelo menos três locais), se possa garantir desde logo uma certa mistura entre camadas.

O tratamento do material betuminoso a reciclar envolvendo problemas de homogeneidade ou de uma dimensão excessiva realiza-se numa central de trituração onde se procede à sua trituração e homogeneização com o objectivo de obter um produto granular uniforme. Esta central, no caso de existirem contaminantes (por exemplo metálicos), deve estar dotada de um dispositivo para a sua detecção e eliminação.

Os materiais fresados após tratamento devem ser armazenados em stock, em camadas horizontais perto da central de fabrico, até serem reutilizadas sendo fundamental que sob boas condições de preservação. Deve ser garantida a protecção das pilhas em relação à chuva e em relação às temperaturas elevadas. A protecção da chuva deve ser feita para evitar a retenção de humidade.

De acordo com Brisa (2003) a humidade nas misturas betuminosas fresadas não deve exceder 5% para o que o consumo de energia para a secagem e aquecimento destes materiais não seja excessivo. A protecção em relação às temperaturas elevadas procura evitar a colagem compactação, e o envelhecimento e/ou oxidação provocado pela radiação solar pelo que quando se prevejam temperaturas superiores a 30°C, os stocks não deverão superar 3 m de altura. Os materiais deverão estar cobertos e o tempo de armazenamento deverá ser o mínimo possível.

Os stocks de materiais fresados devem estar devidamente identificados em relação à sua procedência para que posteriormente sejam preparados novos stocks que se venham a considerar homogéneos. A identificação dos stocks homogéneos é realizada através da proveniência dos materiais que o constituem e através dos ensaios sobre eles realizados.

Os stocks devem situar-se numa zona bem drenada e sobre uma superfície revestida. Se acordo com Brisa (2003), no caso de serem colocadas sobre terreno natural não deverão ser utilizados os 15 cm inferiores do stock.

CARACTERISTICAS DA MISTRUA FRESADA

Sendo as misturas betuminosas fresadas (MBF) um dos componentes das misturas betuminosas recicladas (MBR), devem ser determinadas algumas das suas características. As características a determinar são as seguintes (Brisa 2003):

- Percentagem de materiais estranhos;
- Percentagem de contaminantes;
- Percentagem de betume;
- Granulometria da mistura de agregados;
- Penetração, temperatura de amolecimento e/ou viscosidade do betume recuperado;
- Quantidade de betume modificado e tipo de modificador (por exemplo polímeros).

O betume da mistura betuminosa reciclada (MBR) é composto pelo betume envelhecido contido na mistura betuminosa fresada (MBF) e pelo betume novo adicionado.

Para um stock de misturas betuminosas fresadas devidamente caracterizado em que é conhecida a percentagem de betume e o valor da sua penetração para uma determinada taxa de reciclagem é possível determinar se a adição de um determinado betume novo com uma determinada penetração permite obter o ligante desejado.

De acordo com Brisa (2003) os agregados procedentes do material betuminoso a reciclar não deverão apresentar sinais de meteorização e deverão possuir propriedades de dureza e qualidade similar às exigidas aos agregados novos a adicionar. Essas propriedades deverão ser avaliadas directamente com os mesmos ensaios previstos para os agregados novos ou, eventualmente, indirectamente através de ensaios mecânicos a realizar sobre a MBR. Um desses ensaios é o ensaio de imersão-compressão para avaliação da resistência conservada.

As misturas betuminosas recicladas devem satisfazer as especificações aplicáveis à mistura betuminosa e fabricar tal como se tratassem de misturas tradicionais. Adicionalmente devem ainda satisfazer certos requisitos que são referidos em Brisa (2003).

Um aspecto particular nas misturas fresadas é o endurecimento do betume envelhecido durante o estudo laboratorial. Este betume por se encontrar envelhecido é normalmente um betume duro. Assim as operações de aquecimento das misturas fresadas devem ser realizadas num tempo mínimo de mistura com os agregados novos.

De acordo com PIARC (2002), a taxa de reciclagem final a adoptar tem em consideração os seguintes factores:

- Propriedades dos agregados e do ligante (valores médios) da mistura fresada;
- Homogeneidade das propriedades da mistura fresada;
- Equipamento disponível na central betuminosa.

ENSAIOS CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios laboratoriais de avaliação das características mecânicas das Misturas Betuminosas Recicladas a Quente são essencialmente os mesmos a que se recorre para caracterizar as misturas betuminosas tradicionais.

Além das características de deformabilidade, faz-se avaliação da resistência à fadiga e às deformações permanentes.

Formulação da Mistura

Uma Mistura Betuminosa Reciclada a Quente (MBRQ) difere duma mistura a quente tradicional na medida em que, na sua composição, além dos agregados e do betume asfáltico, existe um terceiro componente, o material fresado e, em alguns casos, um rejuvenescedor do betume.

Os principais passos seguidos na formulação das Misturas Betuminosas Recicladas a Quente são comuns à maioria dos métodos existentes.

Inicialmente faz-se a caracterização do material fresado e dos novos agregados, sendo necessário verificar se os materiais cumprem o especificado para a mistura de referência sem incorporação do fresado.

Segue-se o estabelecimento da composição de base (para a taxa de reciclagem adoptada) e que engloba, sequentemente, o estudo da composição granulométrica, a estimativa das percentagens de betume total (pbr) e novo (pbn) a identificação do tipo de betume e/ou rejuvenescedor e a determinação da percentagem de betume a usar.

Estabelecida a composição de base, os procedimentos usados para obter a fórmula para execução, são semelhantes aos usados nas misturas tradicionais, podendo ir desde a habitual transposição para trechos experimentais até à tomada de decisão em função das características mecânicas das misturas obtidas em ensaios de desempenho.

Os métodos de formulação diferem, na caracterização do material fresado no processo de selecção do tipo de betume e/ou rejuvenescedor e na metodologia usada para fixar a percentagem de betume da mistura reciclada.

Na maioria dos métodos de formulação de MBRQ, a selecção do tipo de betume novo e/ou rejuvenescedor depende da taxa de reciclagem de betume, das características do betume existente no material fresado e das propriedades desejadas para o ligante final.

Regra geral, depois de recuperar o betume existente no material fresado, determina-se a viscosidade ou as grandezas que constituem medidas indirectas da viscosidade: a penetração a 25°C e a temperatura de amolecimento.

Para determinar a quantidade de betume novo a utilizar na composição deve utilizar-se a seguinte fórmula:

$$\log \text{pen}_{\text{mistb}} = a \log \text{pen}_1 + b \log \text{pen}_2$$

Onde:

pen_{mistb} - penetração calculada do betume nas misturas betuminosas MBR

pen₁ - penetração do betume recuperado das MBF

pen₂ - penetração do betume novo a adicionar

a, b – proporções em massa do betume recuperado das MBF e do betume novo a adicionar à MBR, respectivamente, sendo que a soma das duas variáveis tem de ser igual à unidade.

8. CASOS DE INCORPORAÇÃO DE RECICLADO EM NOVAS CAMADAS

Antes de decidir qual o tipo de intervenção a propor para uma beneficiação do pavimento de uma determinada estrada existente, deve-se começar sempre por realizar uma análise do projecto de execução da obra inicial. Com esta análise obteremos informações importantes, para o estudo da eventual reciclagem.

A caracterização do estado do pavimento existente na fase inicial do processo de dimensionamento, revela também grande importância na medida em que só a identificação completa e fiável das suas propriedades permitirá definir o processo de reciclagem e respectivos parâmetros mais apropriados.

Será essencial analisar os seguintes aspectos:

- Características dos materiais do leito do pavimento;
- Camadas de pavimento e respectivas espessuras;
- Propriedades dessas camadas;
- Identificação das origens dos materiais utilizados na construção;
- Intervenções posteriores à construção inicial.

8.1 Casos Nacionais

Na tabela 7 são listadas, de forma não exaustiva, os trabalhos realizados em Portugal.

Ano	Designação obra	Distrito	Dono obra	Tipo reciclagem
1992/1993	EN 12 – Circunvalação Porto	Porto	EP	Reciclagem “in situ” a frio
1995	EN222 – Régua/Pontes das Pateiras		EP	Reciclagem a frio “in situ”
1997/1998	EN14 Nó de Chantre/Limite Distrito de Braga	Porto	EP	Reciclagem a quente em central
1997/1998	EN14 – Azurara/Trofa	Porto	EP	Reciclagem a quente em central
1997/1998	EN105 – Travagem/Santo Tirso	Porto	EP	Reciclagem a quente em central
1997/1998	EN108 – Beneficiação Porto – Entre-os-Rios	Porto	EP	Reciclagem a frio “in situ”
1997/1998	EN105 – Reabilitação pavimento Travagem e Santo Tirso	Porto	EP	Reciclagem a quente em central

1998	EN 254 – beneficiação Aguiar/Viana do Alentejo	Évora	EP	Reciclagem “in situ” a frio
1998/1999	IP8- EN283 Serpa-V.V.Ficalho	Beja	EP	Reciclagem “in situ” a frio com emulsão
2001	EN 283 – Évora /Viana do Alentejo	Beja	EP	Reciclagem “in situ” a frio
2001	EN383 – Canhestros/Aljustrel	Beja	EP	Reciclagem “in situ” a frio com cimento
2001	IP4 – Beneficiação Santa Comba de Rossas e Bragança	Bragança	EP	Reciclagem “in situ” a frio com cimento com MBM
2002	Ruas D. João Coutinho e Ferreira de Castro	Porto	CM Porto	Reciclagem “in situ” com espuma betume
2002	Reabilitação IP2 – Barragem do Fratel/EN118	Portalegre	EP	Reciclagem a frio “in situ” com adição de emulsão
2003/2004	EN114	Évora	EP	Reciclagem “in situ” a frio
2004	SCUT da Costa da Prata (com material fresado na A1)			Reciclagem a quente em central
2004	EN222 – Beneficiação Arnala/Barragem Crestuma Lever	Porto	EP	Reciclagem “in situ” a frio
2005/2006	Beneficiação/Reforço do pavimento A1-Sublanço Pombal/Condeixa		Brisa	Mistura betuminosa a quente central continua
2006	A23		Scutvias	Reciclagem a quente
2008	Beneficiação/Reforço do pavimento A1 – Sublanço Fátima/Leiria		Brisa	Mistura betuminosa a quente central descontínua
2008	EENN205/206 – Beneficiação entre Amorim e L.D. de Braga e entre Gandra e o L.D de Braga	Braga	EP	Reciclagem Semi-quente
	EN244 – Beneficiação entre Ponte de Sor e o cruzamento com a EN 118	Portalegre	EP	Reciclagem semi-quente reutilizando 100% do material fresado
	EM 529	Faro	CM Silves	Reciclagem “in situ” a frio
	EN 207	Felgueiras		Reciclagem “in situ” com emulsão de betume (MBM)

Tabela 7 - Casos Nacionais de Reciclagem

8.2 Casos Internacionais

Alguns casos internacionais são apresentados na tabela 8.

Ano	País/Local	Designação obra	Tipo reciclagem
	Espanha	Autopista A9 Santiago-La Coruna	Mistura fresada em central quente descontínua com emulsão modificada, betume modificado
	Comunidade Madrid	Reabilitação carretera M-604 Puerto de Navacerrada-Puerto de Lotes	Reciclagem “in situ” misto com emulsão e cimento
1991/1992		N-431 entre Huelva e Cartaya	1ª utilização de reciclado com cimento
1995	Cáceres	N-630 Ruta de La Plata	Reciclagem com cimento
2004	França	Auto-estrada A26	Reciclagem a quente em central
2005	USA	Várias Auto-estradas	Reciclagem a quente em central
2005	USA	US-89, MP246.5 a MP254.8	Reciclagem a quente “in situ”
2004/2007	França	RD 939	Reciclagem a frio “in situ”
2006/2007	Suíça	Manutenção se Estradas Nacionais no centro	Reciclagem a frio em central
2008	USA	I-70; MP 107.8 a MP76.3	Reciclagem “in situ”
2009	USA	US-89; NP107.8 a MP115.7	Reciclagem “in situ”

Tabela 8 - Casos Internacionais de Reciclagem

8.3 Caso de estudo

O presente caso de estudo pretende comparar dois estudos realizados por forma a ter a sensibilidade para as vantagens económicas para a incorporação de material reciclado.

O estudo da mistura sem incorporação de reciclado (tabela 9) é referente a um macadame betuminoso sem qualquer incorporação de reciclado. O segundo estudo é referente à intervenção na A23 na qual foi efectuada recuperação e incorporação do material fresado na nova mistura (tabela 10).

Mistura Sem Incorporação de Reciclado

		Brita 16/25		Brita 10/16		Brita 5/10		Pó 0/5			
Peneiros		9%		48%		6%		37%			
nº	mm										
1"	25.4	100,0	9,0	100,0	48,0	100,0	6,0	100,0	37,0	100,0	
3/4"	19.0	88,3	7,9	100,0	48,0	100,0	6,0	100,0	37,0	98,9	
3/8"	9.51	13,3	1,2	31,3	15,0	99,3	6,0	100,0	37,0	59,2	
4	4.75	8,6	0,8	4,2	2,0	28,6	1,7	100,0	37,0	41,5	
10	2.0	6,6	0,6	2,0	1,0	4,8	0,3	75,8	28,0	29,9	
40	0.425	4,4	0,4	1,4	0,7	2,8	0,2	37,5	13,9	15,1	
80	0.180	3,0	0,3	1,0	0,5	2,0	0,1	21,4	7,9	8,8	
200	0.074	1,7	0,2	0,5	0,2	1,0	0,1	12,5	4,6	5,1	

Tabela 9 – Análise granulométrica da mistura sem incorporação (Anexo)

Mistura Com Incorporação de Reciclado

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							Curva da Mistura
Peneiros	% Material Passado						
mm	ABGE	20 RA 0/12			Po 0/5		
							100,0
31,5	100,0	100,0			100,0		100,0
20,0	85,0	100,0			100,0		91,8
12,5	67,0	84,0			100,0		76,3
4,0	40,0	42,0			81,0		44,8
2,0	36,0	31,0			57,0		36,4
0,50	22,0	18,0			29,0		21,3
0,125	10,0	8,0			13,0		9,6
0,063	5,3	4,5			8,6		5,4

%	55,0	35,0			10,0			100,0
---	------	------	--	--	------	--	--	-------

Tabela 10 - Análise granulométrica da mistura com incorporação de reciclado (Anexo)

Transpondo as análises referidas nas tabelas 9 e 10 e materializando nas curvas granulométricas comparativas, obtemos a figura 31.

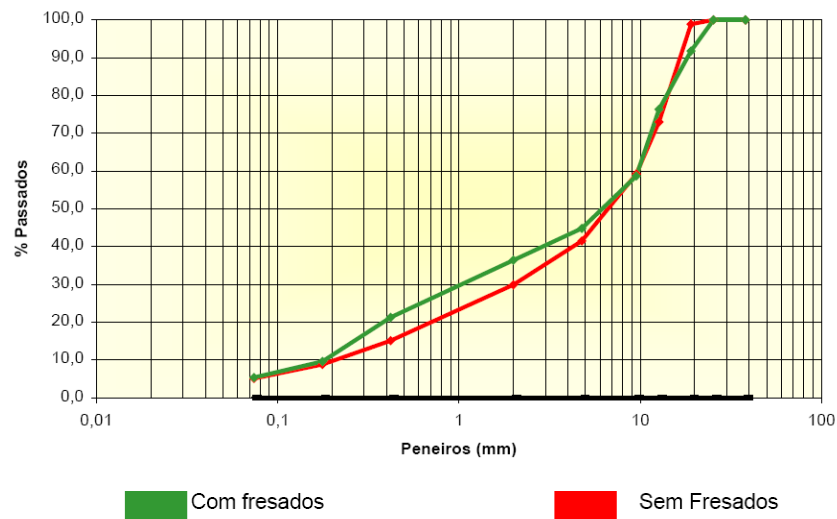


Figura 31 – Curvas granulométricas comparativas

Após os ensaios laboratoriais realizados e cujos resultados se encontram detalhados em anexo, abaixo encontram-se o resumo das características de ambas as misturas segundo os Ensaio de Marshall, demonstrados das figuras 32 à 37.

Relação: Baridade (g.cm^3) – Percentagem de Betume (%)

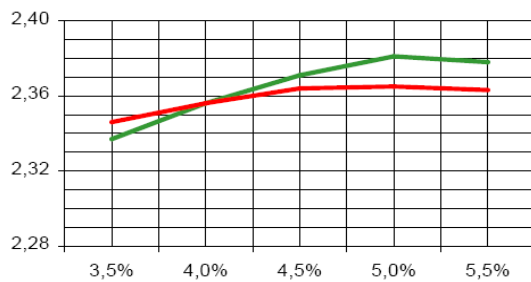


Figura 32 – Comparação Baridade

Relação: Porosidade (%) – Percentagem de Betume (%)

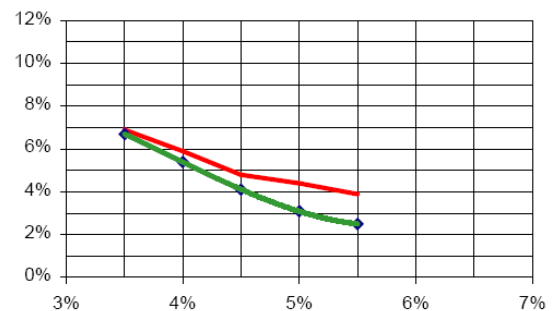


Figura 33 – Comparação Porosidade

Relação: Carga de Rotura (N) – Percentagem de Betume (%)

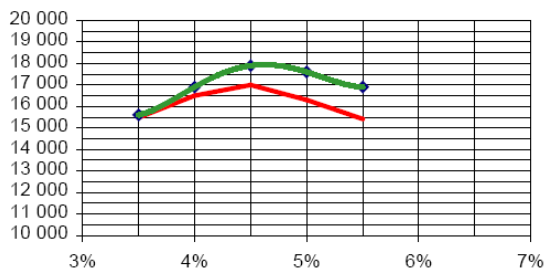


Figura 34 – Comparação Carga Rotura
Relação: Grau de Saturação (%) – Percentagem de Betume (%)

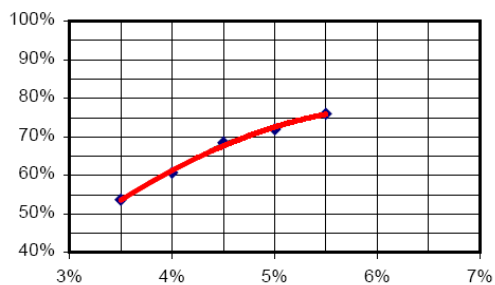


Figura 36 – Grau Saturação em Betume

Relação: Deformação (mm) – Percentagem de Betume (%)

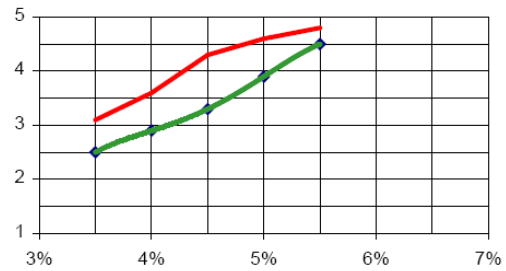


Figura 35 – Comparação Deformação
Relação VMA / Percentagem de Betume (%)

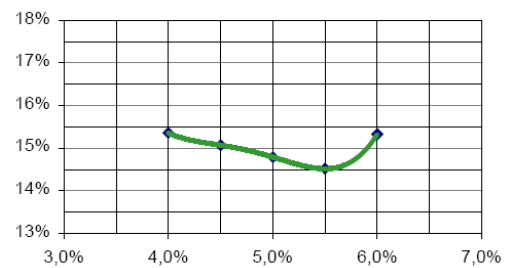


Figura 37 – Vazios na Mistura de Agregados

Legenda: ■ Com fresados ■ Sem Fresados

Perante os resultados, é apresentada a tabela 11 comparativa entre as características da mistura sem e com incorporação de reciclado.

Características	Unidades	Mistura betuminosa sem incorporação de reciclado	Mistura betuminosa com incorporação de Reciclado
Percentagem betume	%	4,6	4,5
Baridade	g/cm ³	2,364	2,370
Porosidade	%	4,7	4
Grau de Saturação em Betume	%	69,1	
Estabilidade	Kgf	1702	1780
Deformação	mm	4,4	3,3
Módulo de rigidez	Kgf/mm	387	
VMA	%		14,2

Tabela 11 - Comparação características das misturas com e sem incorporação de reciclado

Da análise directa das percentagens da tabela anterior podemos afirmar que não existe uma grande diferença na percentagem óptima de betume das duas misturas. Porém segundo o estudo para a formulação no material com incorporação de reciclado, 35% do material da mistura é reciclado o que diminui a quantidade efectiva de betume a incorporar na nova mistura.

Ou seja, dos 4,5% da percentagem de betume, 1,78% já vem incorporada no material fresado, sendo assim efectivamente só é necessário incorporar 2, 72% de betume novo.

Com ou sem incorporação de material reciclado, os resultados finais são idênticos e satisfatórios. Comparando os resultados obtidos para as duas misturas betuminosas concluímos que na mistura com incorporação de fresado:

- A baridade é mais alta, o que seria de esperar, uma vez que a curva granulométrica apresenta mais finos;
- A porosidade é mais baixa;
- A carga de rotura é mais alta;
- E deformabilidade é mais baixa, o que permite concluir que a mistura é mais “fechada” apresenta melhor capacidade de suporte, porém, com estas características poderá fissurar ou partir com maior facilidade.

Os resultados, parecem indicar que ao incorporar percentagens baixas de misturas fresadas não comprometem as características gerais das misturas betuminosas para a camada de base.

8.4 Outras alternativas

Existem outras técnicas de reabilitação estrutural de um pavimento flexível além da reciclagem. Estas técnicas pretendem ser soluções a longo prazo, entre 10 a 20 anos, e além de permitirem a reabilitação das características estruturais melhoram as características funcionais, uma vez que estas técnicas envolvem a aplicação de uma nova camada de desgaste.

As Misturas Betuminosas Modificadas surgiram no início dos anos 70, nos países industrializados, decorrente da necessidade da melhoria das características betuminosas como a menor susceptibilidade térmica e maior flexibilidade de modo a obter uma resposta mais eficaz às maiores solicitações impostas aos pavimentos, como a maior resistência ao envelhecimento e uma melhor capacidade drenante e de redução do ruído, entre outras situações.

Em Portugal, a utilização de misturas betuminosas modificadas aumentou a partir da década de 90.

Os betumes modificados têm sido usados no fabrico de misturas betuminosas em camadas de resistência estrutura, com o principal intuito de reduzir a espessura da camada e aumentar a vida útil do pavimento ou reduzir as deformações permanentes que possam ocorrer.

Os betumes modificados são uma mistura de betume com aditivos, nos quais os principais componentes são: polímeros, enxofre, resinas, fibras orgânicas ou inorgânicas, borracha e endurecedores.

Betumes Modificados com Polímeros

A modificação do betume pela adição de polímeros é a técnica de modificação química mais desenvolvida e que difere dos restantes pela adesão e coesão conseguida.

De todos os aditivos, a utilização de polímeros é a técnica mais desenvolvida nos últimos anos.

A grande variedade de materiais poliméricos existentes, torna a sua classificação divisível em três grupos, atendendo à sua estrutura e propriedades:

TERMOPLÁSTICOS

Trata-se de polímeros solúveis em dissolventes orgânicos, que amolecem por acção do calor, chegando mesmo a fluir. Ao arrefecer, podem moldar-se, conservando a maior parte das suas propriedades intrínsecas.

São exemplos: *Polietileno (PE)*, *Polipropileno (PP)*, *Copolimeno de Etileno Acetato de Vinilo (EVA)*, *Poliestireno (PS)*.

TERMOENDURECÍVEIS

São polímeros formados por reacção química de dois componentes, denominados base e endurecedor, que dão lugar a uma estrutura que se torna insolúvel e indivisível.

O betume modificado pela adição de resinas e endurecedores garante elevada resistência as deformações permanentes e ao ataque por solventes. É um produto de elevada elasticidade, não susceptível às alterações de temperatura a que os pavimentos estão sujeitos mas no entanto o tempo de aplicação diminui proporcionalmente com o aumento da temperatura.

ELASTÓMEROS

Os elastómeros ou borrachas são polímeros lineares que, submetidos a um processo de vulcanização, adquirem uma estrutura parcialmente reticulada, conferindo-lhes as suas propriedades elásticas.

São exemplos todos os tipos de borrachas.

O polímero mais usado em Portugal do grupo dos elastómeros é o SBS (estirenobutadieno-estireno) na ordem dos 25%, para aplicação em camadas de desgaste com betão betuminosos porosos.

Betumes Modificados com Borracha

O comportamento dos betumes também pode ser modificado mediante a adição “in situ” ou em fábrica de borracha moída obtida a partir da trituração de pneus fora de uso. Obtêm-se assim betumes modificados melhorados e betumes de alta viscosidade cujas propriedades podem ainda ser optimizadas mediante a adição de polímeros.

A modificação do betume através da incorporação da borracha de pneus reciclados tem como objectivo melhorar as seguintes características mecânicas:

- Maior flexibilidade e elasticidade;
- Melhorar comportamento e resistência à fadiga;
- Diminuir a susceptibilidade térmica a altas temperaturas;

- Aumento da adesividade entre agregado-ligante;
- Aumento da coesão interna;
- Aumento da resistência ao envelhecimento.

Em Portugal, as misturas com betume modificado com borracha têm sido aplicadas essencialmente em camadas de desgaste e, nalguns casos, em camadas subjacentes a estas. Portugal foi o país europeu pioneiro na utilização de Betume Modificado com Borracha (BMB), tendo-se iniciado em 1999, pela RECIPAV, seguindo a experiência para os EUA e África do Sul.

Distinguem-se três famílias de betumes modificados com borracha (BB):

- Betumes de alta percentagem de borracha ou betume de alta viscosidade (BBA ou BMBA) – com granulado de borracha superior a 18%, em relação à massa total de ligante. Estes são produzidos aquando do fabrico das misturas em obra.
- Betumes de média percentagem de borracha ou betume de média viscosidade (BBM ou BMBM) – com granulado de borracha com percentagens que variam entre 8% e 15% em relação à massa total de ligante
- Betumes de baixa percentagem de borracha ou betume de baixa viscosidade (BBB ou BMBB) – com granulado de borracha com percentagem inferior a 8% em relação à massa total de ligante

Os betumes de média e baixa percentagem de borracha são geralmente produzidos em fábrica própria, pelo que nesta situação são estáveis ao armazenamento. O sistema de armazenamento dos betumes modificados com borracha estáveis ao armazenamento deve estar dotado dos meios necessários para garantir a sua estabilidade.

Betumes Modificados com enxofre

A modificação por adição de enxofre é sobretudo interessante quando utilizada no tamponamento de covas, em pavimentos flexíveis ou rígidos. É fácil de aplicar nas covas por ser uma mistura muito trabalhável e estável, a superfície ser facilmente nivelada, adquirindo uma rigidez suficiente para suportar o tráfego quando arrefece.

Betumes Modificados com Fibras

Nos betumes modificados por adição de fibras utilizam-se geralmente fibras muito curtas e finas (microfibras), sejam de origem mineral, orgânica ou sintética. Frequentemente, as fibras são aplicadas em conjunto com o betume puro, obtendo dois tipos de efeitos. Primeiro, as fibras

fixam uma quantidade importante de ligante sem risco de escorrimento, graças à sua grande superfície específica e às suas qualidades de interface. Por outro lado, as fibras promovem o aumento significativo da resistência mecânica das misturas betuminosas devido à sua geometria alongada com um reforço do mástique (betume + filler + fibra) que liga o agregado.

O betume modificado pela adição de fibras confere ao pavimento uma estrutura capaz de distribuir melhor as tensões existentes e assim resistir ao fendilhamento e às deformações permanentes, com um maior tempo de vida útil da mistura e do pavimento rodoviário.

Betumes Modificados com Resinas

O betume modificado por adição de resinas e endurecedores resulta da adição de um polímero obtido na mistura de dois componentes líquidos, um contendo uma resina e outro um endurecedor, que reagem quimicamente formando uma forte estrutura tridimensional.

9. ESTIMATIVA DE CUSTOS

Numa solução tradicional existem custos ambientais relacionados com o maior consumo de recursos naturais (agregados e petróleo bruto) e com a colocação do material fresado em depósito constituindo um resíduo com custos ambientais (e outros) de eliminação.

Hoje em dia, uma das estratégias para assegurar um crescimento sustentável de uma sociedade é a reciclagem, a reutilização e a redução dos recursos naturais. Uma vez que a disponibilidade deste tipo de recursos é limitada, e cada vez mais escassa, o que exige propostas por parte dos Donos de Obra, Empreiteiros, Engenheiros, que apontem para a valorização dos materiais existentes em vez do recurso sistemático à utilização de novos materiais, ou a consequente colocação em depósitos dos materiais não reutilizáveis.

Na tomada de decisão de beneficiação de um pavimento há que diferenciar as diversas alternativas. As soluções actuais podem passar pela substituição das camadas de misturas betuminosas utilizando processos convencionais de fresagem de pavimentação e reposição de novas misturas betuminosas, ou processos de reciclagem de pavimentos.

O processo de reciclagem a adoptar deverá ser aquele que reúna as características do ponto de vista técnico económico e ambiental, dependendo das características dos materiais a reciclar.

Um dos aspectos comuns a todas as técnicas de reciclagem consiste na importância dos estudos preliminares, os quais deverão ter em consideração aspectos como a geometria do pavimento, a natureza dos trabalhos de manutenção que terão de ser levados a cabo durante o período de vida do pavimento, a caracterização dos materiais a reciclar englobado a previsão da sua evolução ao longo do tempo, a espessura aproximada da intervenção e a formulação da mistura final dos materiais a empregar na estrutura do pavimento.

Os avanços das técnicas de reciclagem de materiais em pavimentos, resultam do melhoramento das técnicas utilizadas e do aprofundamento do conhecimento das propriedades dos materiais aplicados e na diminuição dos custos. Este tipo de técnica conserva os recursos materiais, diminuindo a necessidade de incorporação de novos ligantes e inertes.

Em Portugal já existe experiência na utilização de misturas betuminosas fresadas em obras de reabilitação, nomeadamente no alargamento das faixas de rodagem das auto-estradas, camadas

leito de pavimento com resultados animadores e que impulsionam o aparecimento de novas perspectivas para a reutilização de grandes quantidades de material fresado.

De acordo com PIARC (2002), os custos relacionados com a produção de misturas betuminosas com reciclagem a quente têm origem em diversos factores tais como:

- Disponibilidade da mistura fresada;
- Procura de misturas fresadas;
- Preço do betume;
- Outras saídas para a mistura fresada:
 - Reutilização sem processamento;
 - Misturas a frio com as misturas fresadas;
 - Depósito em vazadouro.

Estas saídas alternativas têm como atractivo o facto de poderem ser usadas sem investimento, conhecimentos ou custos significativos.

Os custos extra directamente associáveis à técnica da reciclagem a quente em relação à produção tradicional de misturas betuminosas são (PIARC 2002):

- Adaptação e extensão da central de misturas betuminosas;
- Capacidade de armazenamento extra de outros materiais;
- Depreciação da adaptação e extensão da central;
- Trabalho extra;
- Controlo da qualidade extra das misturas fresadas;
- Controlo da qualidade extra das misturas recicladas.

Existem ainda outros factores que influenciam os custos associados à reciclagem a quente que são a legislação existente, a aceitação por parte dos donos de obra do recurso a esta técnica, a procura de misturas betuminosas na área da actuação da empresa e o desenvolvimento da técnica de reciclagem nessa mesma área. Estes factores tornam variáveis os custos dependendo da área ou do país de actuação em causa.

Assim, e tendo em consideração os casos apresentados, podemos considerar os custos apresentados nas tabelas 12 e 13.

Custos (ton)	Misturas Betuminosas sem Incorporação	Misturas Betuminosas com Incorporação de reciclado	Misturas Betuminosas com Borracha
Normal	<ul style="list-style-type: none"> Inertes 	<ul style="list-style-type: none"> Inertes 	<ul style="list-style-type: none"> Inertes
Variável com a Formulação	<ul style="list-style-type: none"> Betume Filler 	<ul style="list-style-type: none"> Betume * Filler 	<ul style="list-style-type: none"> Betume * Filler
Fixos	<ul style="list-style-type: none"> Fuel Custo de Fabrico Transporte Aplicação Compactação 	<ul style="list-style-type: none"> Fuel Custo de Fabrico Transporte Aplicação Compactação 	<ul style="list-style-type: none"> Fuel Custo de Fabrico Transporte Aplicação Compactação
Extras		<ul style="list-style-type: none"> Equipamento <custos de vazadouro >custos fresagem (geralmente pago) 	<ul style="list-style-type: none"> Borracha

Tabela 12 - Custos a considerar

		Mistura Betuminosa Tradicional		Mistura Betuminosa com Reciclado	
Inertes	Custo	%	Valor	%	Valor
AGE 0/32	€ 3,50		- €	52,50%	1,84 €
RA 0/12	€ 6,36			33,40%	2,12 €
16/25	€ 5,30	8,60%	0,46 €		
10/16	€ 5,50	45,80%	2,52 €		
5/10	€ 5,50	5,70%	0,31 €		
0/5	€ 3,00	35,30%	1,06 €	9,60%	0,29 €
Filler	€ 30,00		- €	1,78%	0,53 €
Betume	€732,00	4,60%	33,67 €	2,72%	19,91 €
Total			38,02 €		24,69 €

Tabela 13 - Custos comparativo da produção das misturas

Na tabela 12 não se considerou o custo inerente à central e respectiva amortização. Os custos calculados na tabela 13, são custos de produção, o que podemos desde já afirmar que a incorporação de reciclado é mais benéfica, pois a parcela com preço mais expressivo e que mais flutua o betume, na incorporação com reciclado a percentagem efectiva é menor, o que torna o preço global de fabrico menor.

Para incorporação de reciclado nas novas misturas, as centrais que as empresas possuem necessitam de ajustamentos e adaptações, adaptações estas que não são muito económicas.

Partiremos do pressuposto que na intervenção em estudo da A23 adaptou à sua central um equipamento constituído por:

- Duas tolvas de prédosificação volumétrica;
- Dois tapetes alimentadores;
- Tambor secador;
- Elevador de barras;
- Torre de barras;
- Torre de dosificação ponderal (por peso);
- Tapete introdutor no misturador.

Este conjunto tem um preço aproximado de 150.000€.

Tendo como base as características da obra especificadas nas características da análise entregue em anexo e descritas abaixo (figura 38), irá ser realizado um cálculo simplificado do rendimento da aplicação dos materiais em obra. O intuito geral é fazer uma análise do custo/benefício entre o uso do material reciclado e/ou recurso a material betuminoso tradicional.

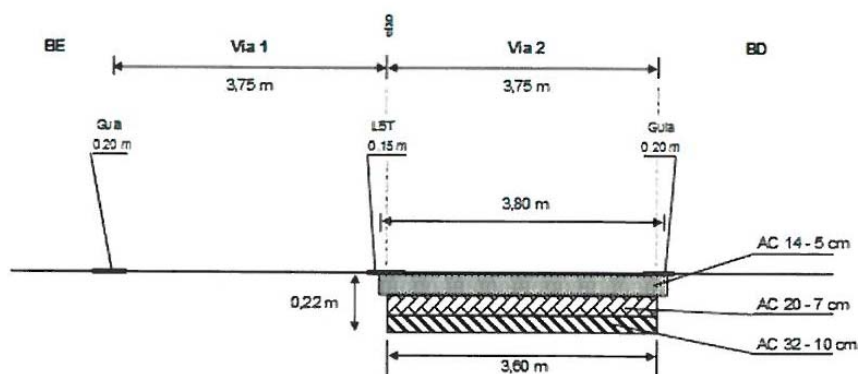


Figura 38 – Esquema de pormenor das “caixas” a intervir

Desta forma a intervenção realizou-se entre o PK 125+200 e o PK 144+200 na via mais à direita em ambos os sentidos, tendo esta, 3,75 m de largura.

Área intervencionada: $(19200 \times 3,75) \times 2 = 144\,000 \text{ m}^2$

Considerando os custos fixos descritos inerentes a ambas as misturas, disposto na tabela 14.

MÃO-DE-OBRA				
DESCRIÇÃO	QTD.	P.UNIT	TOTAL/DIÁRIO	C. Elem
SERVENTES	4,4	6,63	233,376	0,093
CONDUTOR MANOBRADOR N 2	9,9	8,83	699,336	0,280
MOTORISTA	5,5	10,18	447,92	0,179
			Total	0,552 €
MAQUINAS				
DESCRIÇÃO		P.UNIT	TOTAL/DIÁRIO	C. Elem
PAVIMENTADORAS ABG TITAN 323	2	45	720	0,288
CILINDRO DE PNEUS HAMM GRW 18	1,6	20	256	0,102
CILINDRO DE ROLO HAMM HD85	1,6	12,5	160	0,064
ESCAVADORAS BOBCAT	0,4	12,5	40	0,016
TRACTOR AGRÍCOLA + BAUER 5.000 lts	0,24	15	28,8	0,012
			Total	0,482 €
VIATURAS				
DESCRIÇÃO	QTD.Km / Dia	Custo km	TOTAL	C. Elem
4 Eixos	103,85	1,5	155,775	0,062
			Total	0,062 €

Tabela 14 - Custos Fixos

Perante os preços fixos e variáveis, rendimento e horas trabalhadas, obtemos os valores dispostos na tabela 15.

	Unidade	Sem incorporação	Com incorporação
Rendimento	m ² /dia	2500	2500
Horas de trabalho por dia	h	8	8
Mão-de-obra	€	0,552	0,552
Equipamento	€	0,482	0,482
Viaturas	€	0,62	0,62
Materiais	€	18,25	11,851
Custo de Produção	€/m ²	19,346	12,948

Tabela 15 - Comparação custos aplicação em obra

Verifica-se assim uma poupança de **921 313€** com a incorporação de material reciclado, ou seja, que o investimento na adaptação estaria amortizado no final da obra.

No entanto importa lembrar que os custos estimados não foram exaustivos nem aquando o cálculo da produção dos agregados nem na aplicação em obra.

Estes cálculos vêm demonstrar que a incorporação de material reciclado é sem dúvida uma mais-valia económica que rapidamente será rentabilizada e amortizada.

10. CONCLUSÕES

Portugal vive um período de forte contracção financeira, motivada pelo pedido de assistência financeira ao Fundo Monetário Internacional (FMI) e à União Europeia, que impuseram restrições orçamentais na despesa pública.

Portugal, a Europa e o mundo de um modo geral, tem vivido momentos difíceis.

Os trabalhos de investigação mais recentemente tem-se observado um acréscimo em apostando cada vez mais em novas metodologias e novos materiais, verificando-se que a investigação nunca se torna um trabalho acabado sempre procura de alcançar melhores resultados e melhores comportamentos.

Torna-se imprescindível encorajar os Donos de Obra a implementarem nos seus cadernos de encargos a obrigatoriedade de aplicação da reciclagem de pavimentos, colocando-os nos mapas de quantidades artigos com os respectivos descritores.

Nesta abordagem, a reciclagem de pavimentos deverá continuar a assumir um papel fundamental no ciclo de vida dos pavimentos, e mediante esta realidade deverá aumentar e variar a incidência de investigação, procurando maximizar a incorporação de materiais fresados nas técnicas de reabilitação de qualquer tipo de pavimento, incluindo a sua utilização nas camadas de novos pavimentos.

A reciclagem das camadas betuminosas existentes permite dar uma resposta adequada ao problema de escassez de agregados e à crescente dificuldade de encontrar vazadouros para material proveniente da fresagem de pavimentos.

Pretendeu-se realçar a importância do tema que não se trata simplesmente de uma questão ecológica, mas que se torna tecnicamente adequado e obter-se-á consideráveis vantagens económicas.

Torna-se de todo importante investir no desenvolvimento e melhoria da aplicação dos métodos de incorporação de reciclado em novas misturas. Como é sabido, através da reciclagem em central a semi-quente com ligante a emulsão betuminosa, é possível a colocação em obra da mistura de material fresado a 100%.

Importa referenciar que este tema não esgota por aqui, pois ainda há muito a investigar e inovar nas técnicas já existentes e encontrar novas alternativas.

Importa igualmente ganhar consciência em tomar iniciativa na investigação nas intervenções quando este ciclo de vida do pavimento reciclado terminar.

O estudo comparativo apresentado neste trabalho indica que a mistura betuminosa com introdução de pequenas percentagens de misturas betuminosas fresadas apresenta características mecânicas que não comprometem os valores normalmente obtidos em misturas betuminosas com 100% de agregados novos.

Também a nível de custos, as misturas betuminosas com incorporação de fresado apresentam custos de produção significativamente mais baixos, cerca de 35%, que pode representar uma poupança no orçamento geral da obra aliciante para o investimento necessário a realizar na central de produção das misturas betuminosas.

A nível de custos de aplicação verifica-se igualmente, uma redução de cerca de 33%, o que pode levar a uma poupança que ajudará a amortizar os investimentos feitos na central, isto se a obra não tiver um significado em termos de produção, que possa pagar o investimento na totalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigos Técnicos Conferências ou Seminários

Delgado, Jaime & Baptista, Teresa, Batista. (sem data). Beneficiação de Pavimentos Utilizando Misturas Betuminosas com Betume Borracha. IV Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos – Pavimentos Sustentáveis.

Fonseca, Paulo. (sem data). Utilização do Betume Modificado com Borracha em Portugal: Balanço de 5 anos de Experiência.

Gonçalves, A., Neves, R. D., 2003. Agregados reciclados. Seminário sobre agregados, Sociedade Portuguesa de Geotecnia. LNEC.

International Journal of Scientific & Technology Research, Volume 2, Issue 7, July 2013. Recycling of asphalt Pavement for Accelerated and Sustainable Road Development In Nigéria.

Miranda, Valverde & Fernandes Cordeiro & Fonseca Paulo. (sem data). Utilização de Reciclagem “in situ” com Cimento na obra de beneficiação de IP4 entre Rossas e Bragança. II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários – Reciclagem de Pavimentos.

Nunes, Hélio Pontes & Duenas, António Páez. (sem data). Reciclagem com Rejuvenescedores. IV Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos – Pavimentos Sustentáveis.

Oliveira, Emídio. Estudo Actual da Reciclagem de Pavimentos e Perspectiva Futura. (sem data). II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários – Reciclagem de Pavimentos.

Simões, Rui & Paul, Isabel. (sem data). Aplicação da Técnica de Reciclagem de pavimentação In Situ com Cimento, na Beneficiação da EN383-Canhestros/Aljustrel. II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários – Reciclagem de Pavimentos.

Soto, José A. & Blanco, Agustin. (sem data). Mezclas “Semi-Calientes” com Emulsion Bituminosa. IV Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos – Pavimentos Sustentáveis.

Teixeira, Adriano & Rodrigues, Rui & Azevedo, M. Conceição. (sem data). Betume Espuma - 1ª Experiência em Portugal. II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários – Reciclagem de Pavimentos.

Teses, Dissertações e/ou Monografias

Batista, F. A., 2004. Misturas Betuminosas Densas a Frio (Tese Doutoramento).

Baptista, António Costa, 2006. Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central Contribuição para o seu Estudo e Aplicação. Universidade de Coimbra (Tese Doutoramento).

Gomes, Luis Filipe de Sousa, 2005. Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central. FEUP (Tese Doutoramento).

Normas ou Regulamentos

EN 471/2009 – Guia para utilização de agregados reciclados grossos em betão de ligantes hidráulicos. LNEC.

EN 472/2009 – Guia para a reciclagem de Misturas Betuminosas a quente em central. LNEC.

EN 473/2009 – Guia para reciclados de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos. LNEC.

EN 474/2009 – Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camadas de leito de infra-estruturas de transporte. LNEC.

Relatórios Técnicos

ARRA – Asphalt Recycling and Reclaiming Association, 2001. Basic Asphalt Recycling Manual.

Azevedo, M. C., 2002. Apontamentos de apoio às aulas de mestrado em vias de comunicação da cadeira de pavimentos. FEUP.

Batista, Fátima A, 2005, Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários – Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos.

Brisa, 2003. Caderno Encargos: Empreitada para as obras de beneficiação/reforço do pavimento, no sublanço Aveiro (sul)/ Albergaria da A1 – Auto-Estrada do Norte.

CEPSA, 2007. Manual de Pavimentação, Lisboa.

EAPA – European Asphalt Pavement Association, 1998. Directivas ambientais sobre as melhores técnicas disponíveis (BAT) para a produção de misturas betuminosas.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2001.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2002.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2003.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2004.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2005.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Industry Statement on the Recycling of Asphalt Mixes and use of Waste of Asphalt Pavements.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2006.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2007.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2008.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2009.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2010.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2011.

EAPA – European Asphalt Pavement Association. Asphalt In Figures 2012.

Fonseca, Paulo. Constituição e Modo de Comportamento dos Pavimentos Rodoviários. Dep. Eng. Civil. Universidade Minho.

InIR, Disposições Normativas – Construção e Reabilitação de Pavimentos Reciclagem de Pavimentos.

InIR. Disposições Normativas – Directivas para a Concepção do Pavimentos Critérios de Dimensionamento.

InIR. Disposições Normativas – Construção e Reabilitação de Pavimentos Ligantes Betuminosos.

Lewis, Tony, 2013. Pavement Recycling The South African Approach, Society for Asphalt Technology.

Miranda, Valverde, EP (PFI 2005/2006). Curso de Conservação – Reciclagem de Pavimentos “in situ” e Reflexão de Fissuras”.

NAPA. Recycling Hot Mix Asphalt Pavements – Information Series 123.

Pereira, P. & Miranda, V., 1999. Gestão de Conservação dos Pavimentos Rodoviários. Universidade Minho.

PIARC, 2001. Recycling of existing flexible pavements. World Road Association.

PIARC, 2002. Guidelines hot mix asphalt recycling in plant. World Road Association.

Picado-Santos, L., Baptista, A., 2004. Reciclagem a quente de misturas betuminosas em central – Relatório Técnico. FCTUC/LUSOS CUT.

United States Department of Defense, 2001. Standard Practice Manual for Flexible Pavements. USA, (USDD, 2001).

Sites da Internet

<http://www.arra.org/> (consultado em 2014)

<http://www.direct-mat.eu/> (consultado em 2014)

<http://durabroads.eu> (consultado em 2014)

<http://eapa.org> (consultado em 2014)

<http://inir.pt> (consultado em 2014)

<http://imtt.pt> (consultado em 2014)

<http://greenroad-santader.com> (consultado em 2014)

<http://www.lifesure.es/> (consultado em 2014)

<http://polymixlife.eu> (consultado em 2014)

<http://www.proyetofenix.es> (consultado em 2014)

ANEXOS

ANEXO I

Estudo Mistura Betuminosa Sem Incorporação de Reciclado

Macadame Betuminoso

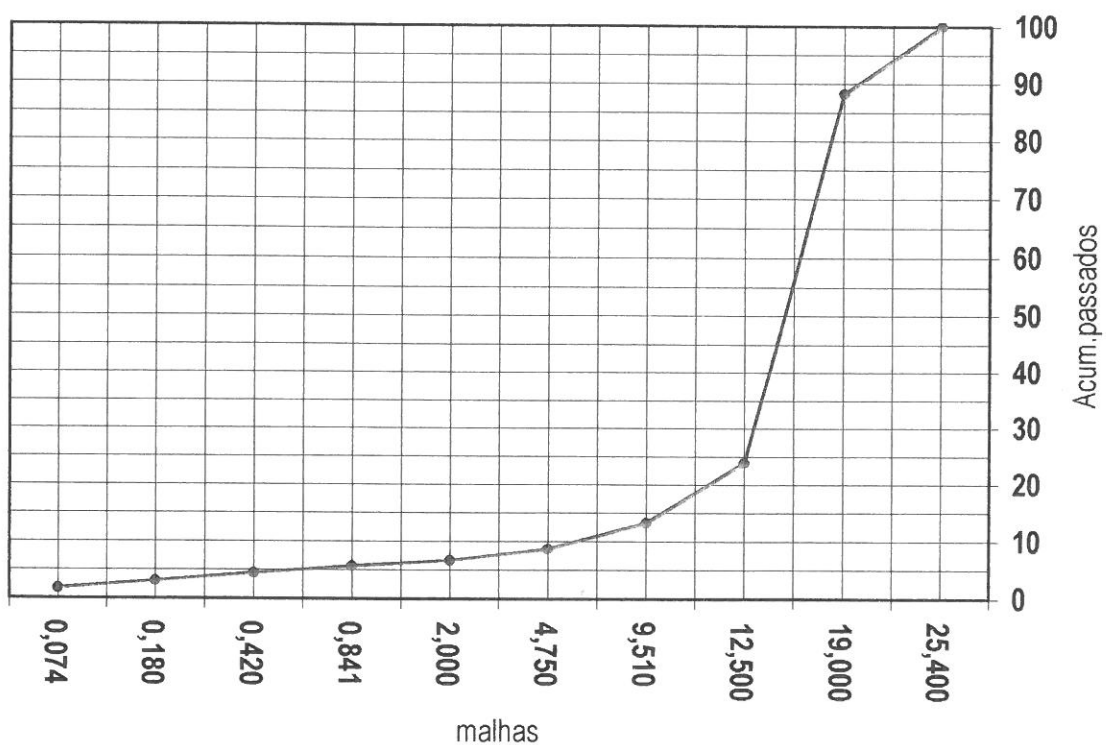
Características dos materiais

AGREGADOS - Análise granulométrica (E 233 - 1969)

Brita 16/25

Peneiros		Peso (gr)	Material Retido (0,0 %)	Percentagens Acumuladas dos Passados (0,0 %)
nº	Malha mm			
1"	25,400			100,0
3/4"	19,000	586,3	11,7	88,3
1/2"	12,500	3233,1	64,4	23,9
3/8"	9,510	532,6	10,6	13,3
4	4,750	233,9	4,7	8,7
10	2,000	99,1	2,0	6,7
20	0,841	54,9	1,1	5,6
40	0,420	57,4	1,1	4,4
80	0,180	70,2	1,4	3,0
200	0,074	66,5	1,3	1,7
Fundo		86,2	1,7	
Totais		5020,2	100,0	

Análise granulométrica



Executou :

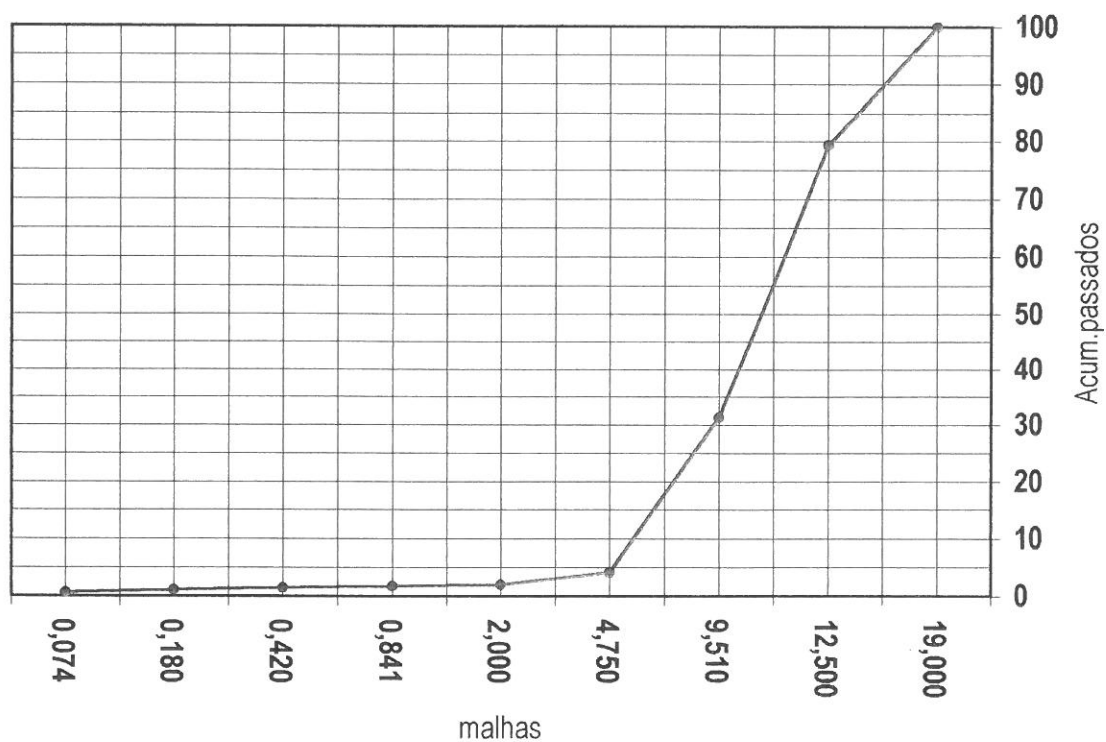
Verificou :

AGREGADOS - Análise granulométrica (E 233 - 1969)

Brita 10/16

Peneiros		Peso (gr)	Material Retido (0,0 %)	Percentagens Acumuladas dos Passados (0,0 %)
nº	Malha mm			
1"	25,400			
3/4"	19,000			100,0
1/2"	12,500	766,9	20,6	79,4
3/8"	9,510	1786,5	48,1	31,2
4	4,750	1004,7	27,1	4,2
10	2,000	80,3	2,2	2,0
20	0,841	10,1	0,3	1,8
40	0,420	9,5	0,3	1,5
80	0,180	14,7	0,4	1,1
200	0,074	18,7	0,5	0,6
Fundo		22,6	0,6	
Totais		3714,0	100,0	

Análise granulométrica



Executou :

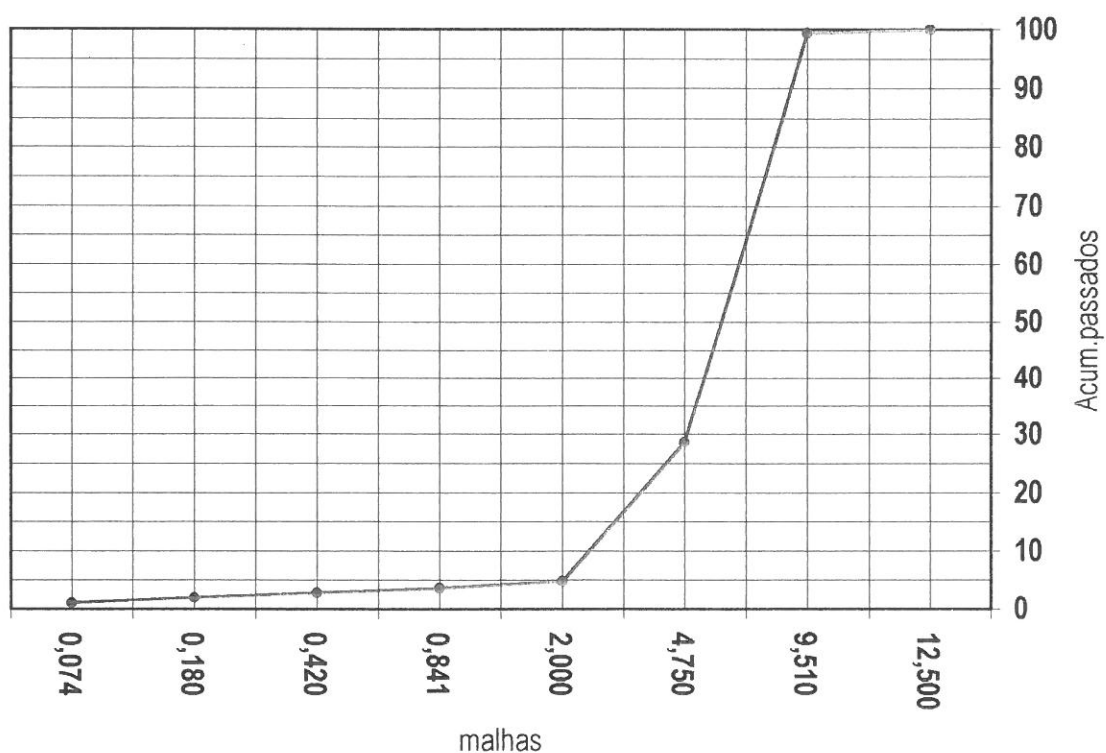
Verificou :

AGREGADOS - Análise granulométrica (E 233 - 1969)

Brita 5/10

Peneiros		Peso (gr)	Material Retido (0,0 %)	Percentagens Acumuladas dos Passados (0,0 %)
nº	Malha mm			
1"	25,400			
3/4"	19,000			
1/2"	12,500			100,0
3/8"	9,510	11,0	0,7	99,3
4	4,750	1164,1	70,7	28,7
10	2,000	391,8	23,8	4,9
20	0,841	20,5	1,2	3,6
40	0,420	13,5	0,8	2,8
80	0,180	12,9	0,8	2,0
200	0,074	16,0	1,0	1,1
Fundo		17,7	1,1	
Totais		1647,5	100,0	

Análise granulométrica



Executou :

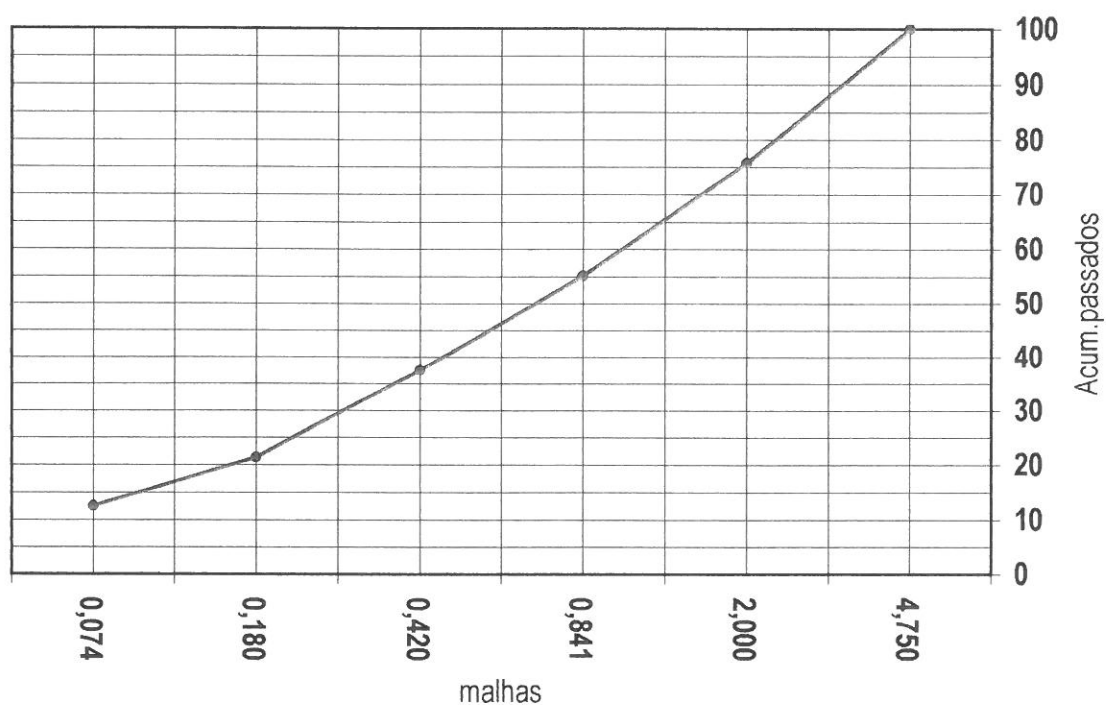
Verificou :

AGREGADOS - Análise granulométrica (E 233 - 1969)

Pó 0/5

Peneiros		Peso (gr)	Material Retido (0,0 %)	Percentagens Acumuladas dos Passados (0,0 %)
nº	Malha mm			
1"	25,400			
3/4"	19,000			
1/2"	12,500			
3/8"	9,510			
4	4,750			100,0
10	2,000	127,1	24,2	75,8
20	0,841	108,3	20,6	55,2
40	0,420	92,7	17,6	37,5
80	0,180	84,7	16,1	21,4
200	0,074	46,7	8,9	12,5
Fundo		65,8	12,5	
Totais		525,3	100,0	

Análise granulométrica



Executou :

Verificou :

SOLOS - Equivalente de areia (E 199 - 1967)

Pó 0/5

Número da proveta			1	2
K	Constante do aparelho	mm	6	6
h1	Distância do nível superior da suspensão	mm	121	116
hs	Distância entre a face superior da peça guia	mm	92	88
$h2 = hs - K$	Distância da base da proveta ao nível superior da areia	mm	86	82
$EA = (h2/h1) \cdot 100$	Equivalente de Areia	%	71,1	70,7
Média do equivalente de areia			71	

Observações :

Executou :

Verificou :

**INERTES PARA ARGAMASSAS E BETÕES - Determinação da massa volúmica
e absorção de água de britas e godos (NP 581 - 1969)**

Brita 16/25

Provete nº			1	2
m1	Massa da amostra saturada com a superfície seca	gr	1878,0	1646
m2	Massa na água da amostra saturada	gr	1174,0	1029
m3	Massa da amostra seca	gr	1865,0	1634
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C
Ga	Densidade da água		0,99897	0,99897
$(m3/(m3-m2))*Ga$	Massa volúmica do material impermeável	gr/cm3	2,696	2,698
$(m1/(m1-m2))*Ga$	Massa volúmica das partículas saturadas	gr/cm3	2,665	2,665
$(m3/(m1-m2))*Ga$	Massa volúmica das partículas secas	gr/cm3	2,646	2,646
$((m1-m3)/m3)*100$	Absorção de água	%	0,7	0,7

Massa volúmica do material impermeável

Gs = 2,697

Massa volúmica das partículas saturadas

Gh = 2,665

Massa volúmica das partículas secas

G'h = 2,646

Absorção de água

A = 0,7

Executou :

Verificou :

**INERTES PARA ARGAMASSAS E BETÕES - Determinação da massa volúmica
e absorção de água de britas e godos (NP 581 - 1969)**

Brita 10/16

Provete nº			1	
m1	Massa da amostra saturada com a superfície seca	gr	2293,0	2261
m2	Massa na água da amostra saturada	gr	1436,0	1415
m3	Massa da amostra seca	gr	2279,0	2247
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C
Ga	Densidade da água		0,99897	0,99897
$(m3/(m3-m2))*Ga$	Massa volúmica do material impermeável	gr/cm3	2,701	2,698
$(m1/(m1-m2))*Ga$	Massa volúmica das partículas saturadas	gr/cm3	2,673	2,670
$(m3/(m1-m2))*Ga$	Massa volúmica das partículas secas	gr/cm3	2,657	2,653
$((m1-m3)/m3)*100$	Absorção de água	%	0,6	0,6

Massa volúmica do material impermeável	Gs =	<u>2,699</u>
Massa volúmica das partículas saturadas	Gh =	<u>2,671</u>
Massa volúmica das partículas secas	G'h =	<u>2,655</u>
Absorção de água	A =	<u>0,6</u>

Executou :

Verificou :

**INERTES PARA ARGAMASSAS E BETÕES - Determinação da massa volúmica
e absorção de água de areias (NP 954 - 1973)**

487

Brita 5/10

Provete nº			1	
m1	Massa do provete com as partículas saturadas	gr	492,2	
m2	Massa do picnómetro cheio de água	gr	1990,0	
m3	Massa do picnómetro com o provete e água	gr	2295,9	
m4	Massa do provete seco	gr	487,0	
	Temperatura da água	°C	16 °C	
	Densidade da água		0,99897	
$m4 / (m4 + m2 - m3)$	Massa volúmica do material impermeável	gr/cm3	2,686	
$m1 / (m1 + m2 - m3)$	Massa volúmica das partículas saturadas	gr/cm3	2,639	
$m4 / (m1 + m2 - m3)$	Massa volúmica das partículas secas	gr/cm3	2,611	
$((m1 - m4)/m4) * 100$	Absorção de água	%	1,1	

Massa volúmica do material impermeável	Gs =	<u>2,686</u>
Massa volúmica das partículas saturadas	Gh =	<u>2,639</u>
Massa volúmica das partículas secas	G'h =	<u>2,611</u>
Absorção de água	A =	<u>1,1</u>

Executou :

Verificou :

**INERTES PARA ARGAMASSAS E BETÕES - Determinação da massa volúmica
e absorção de água de areias (NP 954 - 1973)**

Pó 0/5

Provete nº			1	
m1	Massa do provete com as partículas saturadas	gr	379,8	
m2	Massa do picnómetro cheio de água	gr	910,5	
m3	Massa do picnómetro com o provete e água	gr	1143,1	
m4	Massa do provete seco	gr	375,5	
	Temperatura da água	°C	16 °C	
	Densidade da água		0,99897	
$m4 / (m4+m2-m3)$	Massa volúmica do material impermeável	gr/cm3	2,625	
$m1 / (m1+m2-m3)$	Massa volúmica das partículas saturadas	gr/cm3	2,578	
$m4 / (m1+m2-m3)$	Massa volúmica das partículas secas	gr/cm3	2,548	
$((m1-m4)/m4)*100$	Absorção de água	%	1,1	

Massa volúmica do material impermeável

Gs = 2,625

Massa volúmica das partículas saturadas

Gh = 2,578

Massa volúmica das partículas secas

G'h = 2,548

Absorção de água

A = 1,1

Executou :

Verificou :

AGREGADOS - Determinação dos Índices de Alongamento e Lamelação (BS 832)

Brita 16/25

ÍNDICE DE ALONGAMENTO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8				50		
50,8	38,1			80,0	35		
38,1	25,4			57,2	17,7		
25,4	19,1	586,5	11,7	39,9	5	570,0	16,5
19,1	12,7	3233,1	64,4	28,5	2,5	2694,7	538,4
12,7	9,5	523,6	10,6	20,1	0,75	274,8	248,8
9,5	6,4			14,2	0,5		
Totais		m1 4343,2				m2 803,7	

Índice de alongamento (%) 18,5

ÍNDICE DE LAMELAÇÃO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8			34,29	50		
50,8	38,1			26,67	35		
38,1	25,4			19,05	17,7		
25,4	19,1	586,5	11,7	13,34	5	71,2	515,3
19,1	12,7	3233,1	64,4	9,53	2,5	196,1	3037,0
12,7	9,5	523,6	10,6	6,68	0,75	26,8	496,8
9,5	6,4			4,80	0,5		
Totais		m1 4343,2				m2 294,1	

Índice de lamelação (%) 6,8

Executou :

Verificou :

AGREGADOS - Determinação dos Índices de Alongamento e Lamelação (BS 832)

Brita 10/16

ÍNDICE DE ALONGAMENTO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8				50		
50,8	38,1			80,0	35		
38,1	25,4			57,2	17,7		
25,4	19,1			39,9	5		
19,1	12,7	766,9	20,6	28,5	2,5	757,3	9,6
12,7	9,5	1786,5	48,1	20,1	0,75	1124,9	661,6
9,5	6,4	866,2	23,3	14,2	0,5	376,5	489,7
Totais		m1	3419,6			m2	1160,9

Índice de alongamento (%) 33,9

ÍNDICE DE LAMELAÇÃO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8			34,29	50		
50,8	38,1			26,67	35		
38,1	25,4			19,05	17,7		
25,4	19,1			13,34	5		
19,1	12,7	766,9	20,6	9,53	2,5	161,8	605,1
12,7	9,5	1786,5	48,1	6,68	0,75	115,6	1670,9
9,5	6,4	866,2	23,3	4,80	0,5	39,1	827,1
Totais		m1	3419,6			m2	316,5

Índice de lamelação (%) 9,3

Executou :

Verificou :

AGREGADOS - Determinação dos Índices de Alongamento e Lamelação (BS 832)

Brita 5/10

ÍNDICE DE ALONGAMENTO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8				50		
50,8	38,1			80,0	35		
38,1	25,4			57,2	17,7		
25,4	19,1			39,9	5		
19,1	12,7			28,5	2,5		
12,7	9,5			20,1	0,75		
9,5	6,4	635,7	38,6	14,2	0,5	459,4	176,3
Totais		m1 635,7				m2 176,3	

Índice de alongamento (%) 27,7

ÍNDICE DE LAMELAÇÃO							
Malhas utilizadas		Granulometria		Abertura das	M.min. Por	Massa	Massa
Passados	Retidos	Massa	Porcentagem	Bitolas	subdivisão	passada	retida
mm	mm	retida	retida	mm	Kg	na bitola	na bitola
63,5	50,8			34,29	50		
50,8	38,1			26,67	35		
38,1	25,4			19,05	17,7		
25,4	19,1			13,34	5		
19,1	12,7			9,53	2,5		
12,7	9,5			6,68	0,75		
9,5	6,4	635,7	38,6	4,80	0,5	108,7	527,0
Totais		m1 635,7				m2 108,7	

Índice de lamelação (%) 17,1

Executou :

Verificou :

AGREGADOS - Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles (E 237 - 1970)

ENSAIO DE DESGASTE PELA MÁQUINA DE LOS ANGELES

GRANULOMETRIA:

B

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA DOS PROVETES

FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS mm	MASSAS (gr.) COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS						
	A	B	C	D	E	F	G
76,1 / 64,0					2500 + / - 50		
64,0 / 50,8					2500 + / - 50		
50,8 / 38,1					5000 + / - 50	5000 + / - 50	
38,1 / 25,4	1250 + / - 25					5000 + / - 25	5000 + / - 25
25,4 / 19,0	1250 + / - 25						5000 + / - 25
19,0 / 12,7	1250 + / - 10	2500 + / - 10					
12,7 / 9,51	1250 + / - 10	2500 + / - 10					
9,51 / 6,35			2500 + / - 10				
6,35 / 4,76			2500 + / - 10				
4,76 / 2,38				5000 + / - 10			
TOTAL	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	5000 +/- 10	10000 +/- 100	10000 +/- 75	10000 +/- 50
ROTAÇÕES	500	500	500	500	1000	1000	1000
CARGA	12 Esferas	11 Esferas	8 Esferas	6 Esferas	12 Esferas	12 Esferas	12 Esferas
ABRASIVA	5000 + / - 25	4584 + / - 25	3330 + / - 20	2500 + / - 15	5000 + / - 25	5000 + / - 25	5000 + / - 25

Massa do provete	5008,1
Massa do material retido no peneiro # 12	3527,4
% Desgaste	29,6

OBS: Ensaio realizado com as britas 16/25 e 10/16.

Executou :

Verificou :



ESPECIFICAÇÃO DE BETUMES CONVENCIONAIS

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	NORMA	B 10/20		B 35/50		B 50/70		B 70/100		B 160/220	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Penetração a 25°, 100gr, 5 seg	O,1mm	ASTM D5	10	20	35	50	50	70	70	100	160	220
Temperatura de Amolecimento	°C	ASTM D36	63	76	50	58	46	54	43	51	35	43
Viscosidade Cinemática a 135°C	mm²/s	ASTM D2170	1000	-	370	-	295	-	230	-	135	-
Solubilidade em Tolueno ou xileno	%	ASTM D2042	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
Temp de Inflamação	°C	EN 22592	250		240		230	-	230	-	220	-
Resistência ao endurecimento – RTFOT OU TFOT		ASTM D2872 ASTM D1754										
Variação de Massa	%			0,5	-	0,5	-	0,5	-	0,8	-	
Penetração	%PO	ASTM D5	60		53		50	-	46	-	37	-
Temperatura de Amolecimento	°C	ASTM D36	65	-	52		48	-	45	-	37	-
Aumento da temperatura de amolecimento	°C		-	8	-	11	-	11	-	11	-	12

Características da mistura

As percentagens obtidas são as indicadas :

Materiais	Percentagem que melhor se ajusta ao fuso
16/25	9
10/16	48
5/10	6
0/5	37

Preparação dos provetes :

Na moldagem dos provetes, foi utilizada a energia de 75 pancadas, por topo em compactação mecânica.

Foram preparadas cinco séries de provetes, com cinco percentagens diferentes, em betume.
A cada série correspondem, três provetes.

Características Marshall :

Após a determinação da baridade, foi efectuado o ensaio Marshall, para determinação da força de rotura e deformação.

Para este ensaio os provetes foram imersos em água á temperatura de 60 °C, durante 40 minutos.

Percentagem óptima em betume :

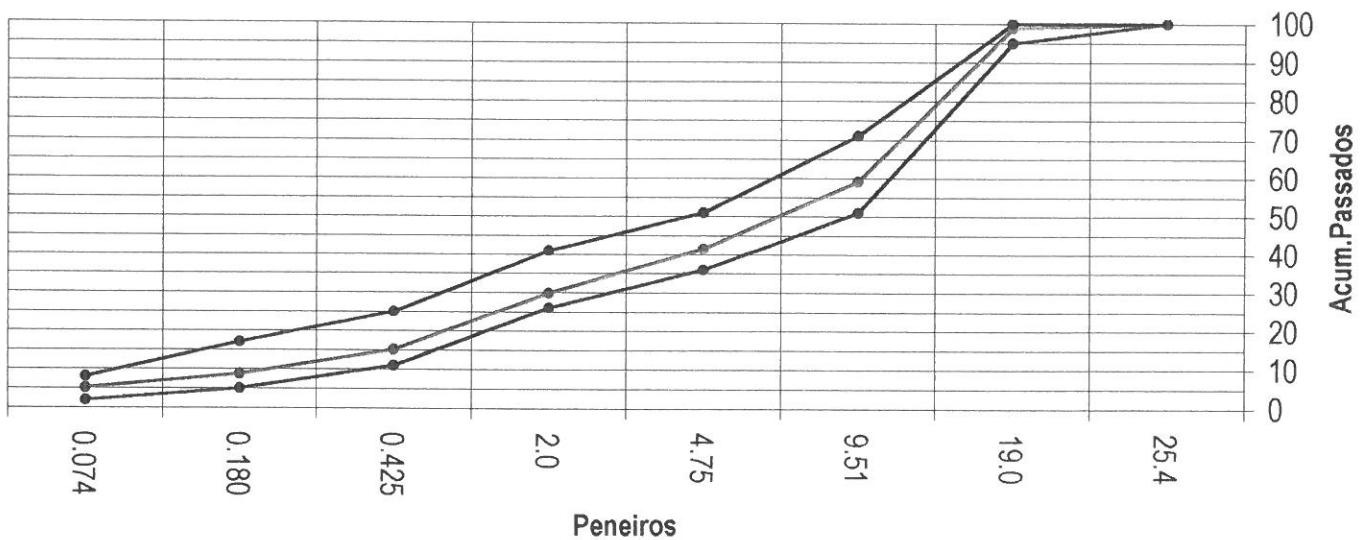
Para a percentagem óptima em betume, traçaram - se os gráficos de evolução das várias características com a percentagem em betume.

MACADAME BETUMINOSO

Brita 16/25	Brita 10/16	Brita 5/10	Pó 0/5
-------------	-------------	------------	--------

Peneiros		9%		48%		6%		37%		Fuso	
n°	mm										
1"	25.4	100,0	9,0	100,0	48,0	100,0	6,0	100,0	37,0	100,0	100
3/4"	19.0	88,3	7,9	100,0	48,0	100,0	6,0	100,0	37,0	98,9	95
3/8"	9.51	13,3	1,2	31,3	15,0	99,3	6,0	100,0	37,0	59,2	51
4	4.75	8,6	0,8	4,2	2,0	28,6	1,7	100,0	37,0	41,5	36
10	2.0	6,6	0,6	2,0	1,0	4,8	0,3	75,8	28,0	29,9	26
40	0.425	4,4	0,4	1,4	0,7	2,8	0,2	37,5	13,9	15,1	11
80	0.180	3,0	0,3	1,0	0,5	2,0	0,1	21,4	7,9	8,8	5
200	0.074	1,7	0,2	0,5	0,2	1,0	0,1	12,5	4,6	5,1	2

Granulometria da mistura



Observações :

Executou :

Verificou :

Baridade de misturas betuminosas compactadas (ASTM D 2726 - 1989)

Percentagem de betume			3,5%		
Número da amostra			1	2	3
m1	Massa da amostra	gr	1198	1193	1195
m2	Massa da amostra dentro de água	gr	691	689	689
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr	1201	1197	1198
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C	16 °C
K	Factor de correcção		0,99897	0,99897	0,99897
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3	510	508	509
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3	2,349	2,348	2,348
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3	2,347	2,346	2,345
Baridade média			2,346		

Percentagem de betume			4,0%		
Número da amostra			1	2	3
m1	Massa da amostra	gr	1194	1198	1197
m2	Massa da amostra dentro de água	gr	692	691	693
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr	1198	1200	1200
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C	16 °C
K	Factor de correcção		0,99897	0,99897	0,99897
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3	506	509	507
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3	2,360	2,354	2,361
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3	2,357	2,351	2,359
Baridade média			2,356		

Percentagem de betume			4,5%		
Número da amostra			1	2	3
m1	Massa da amostra	gr	1199	1194	1202
m2	Massa da amostra dentro de água	gr	694	691	696
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr	1201	1195	1204
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C	16 °C
K	Factor de correcção		0,99897	0,99897	0,99897
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3	507	504	508
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3	2,365	2,369	2,366
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3	2,362	2,367	2,364
Baridade média			2,364		

Observações : Provetes moldados com 75 pancadas em cada face.

Executou :

Verificou :

Baridade de misturas betuminosas compactadas (ASTM D 2726 - 1989)

Percentagem de betume			5,0%		
Número da amostra			1	2	3
m1	Massa da amostra	gr	1187	1211	1198
m2	Massa da amostra dentro de água	gr	686	701	693
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr	1188	1212	1199
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C	16 °C
K	Factor de correcção		0,99897	0,99897	0,99897
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3	502	511	506
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3	2,365	2,370	2,368
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3	2,362	2,367	2,365
Baridade média			2,365		

Percentagem de betume			5,5%		
Número da amostra			1	2	3
m1	Massa da amostra	gr	1197	1202	1196
m2	Massa da amostra dentro de água	gr	691	694	690
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr	1197	1202	1196
	Temperatura da água	°C	16 °C	16 °C	16 °C
K	Factor de correcção		0,99897	0,99897	0,99897
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3	506	508	506
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3	2,366	2,366	2,364
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3	2,363	2,364	2,361
Baridade média			2,363		

Percentagem de betume					
Número da amostra					
m1	Massa da amostra	gr			
m2	Massa da amostra dentro de água	gr			
m3	Massa da amostra com a superfície seca	gr			
	Temperatura da água	°C			
K	Factor de correcção				
V= m3-m2	Volume da amostra	cm3			
G =M1/V	Baridade da amostra	gr/cm3			
Ga = G*K	Baridade da amostra a 25 °C	gr/cm3			
Baridade média					

Observações : Provete moldados com 75 pancadas em cada face.

Executou :

Verificou :

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE MÁXIMA TEÓRICA (ASTM D 2041 - 1991)

	Percentagem de betume		3,5%	4,0%	4,5%
	Temperatura do ensaio		25	25	25
m1	Peso do picnometro vazio	g	6881,7	6881,7	6881,7
m2 = m1+m3	Peso do picnometro + amostra	g	9373,1	9333,2	9362,9
m3	Peso da amostra	g	2491,4	2451,5	2481,2
m4 (tabela 1)	Peso do picnometro + água á temperatura do ensaio	g	18542,2	18542,2	18542,2
m5 = m3+m4	Peso do picnometro cheio de água + amostra	g	21033,6	20993,7	21023,4
m6	Peso do picnometro + água + amostra	g	20044,6	20014,6	20023,6
m7 = m5-m6	Peso da água deslocada	g	989,0	979,1	999,8
C2 (tabela 2)	Correcção do volume do betume	g	0,0000	0,0000	0,0000
m8 = m7-C2	Peso corrigido da água deslocada	g	989,0	979,1	999,8
K (tabela 3)	Constante da água	g/cm3	1,00000	1,00000	1,00000
bmt = (m3/m8)*K	Baridade da amostra para 25 °C	g/cm3	2,519	2,504	2,482

	Percentagem de betume		5,0%	5,5%	
	Temperatura do ensaio		25	25	
m1	Peso do picnometro vazio	g	6881,7	6881,7	
m2 = m1+m3	Peso do picnometro + amostra	g	9322,1	9399,5	
m3	Peso da amostra	g	2440,4	2517,8	
m4 (tabela 1)	Peso do picnometro + água á temperatura do ensaio	g	18542,2	18542,2	
m5 = m3+m4	Peso do picnometro cheio de água + amostra	g	20982,6	21060,0	
m6	Peso do picnometro + água + amostra	g	19996,6	20036,5	
m7 = m5-m6	Peso da água deslocada	g	986,0	1023,5	
C2 (tabela 2)	Correcção do volume do betume	g	0,0000	0,0000	
m8 = m7-C2	Peso corrigido da água deslocada	g	986,0	1023,5	
K (tabela 3)	Constante da água	g/cm3	1,00000	1,00000	
bmt = (m3/m8)*K	Baridade da amostra para 25 °C	g/cm3	2,475	2,460	

Executou :

Verificou :

ENSAIO MARSHALL

ENSAIO MARSHALL - CARACTERISTICAS DOS PROVETES

PESO ESPECIFICO DA MISTURA DE INERTES:

2,670

PESO ESPECIFICO DO BETUME:

1,03

Percentagem de betume			3,50	4,00	4,50
γ_p	Baridade dos provetes	0,001 gr./cm ³	2,346	2,356	2,364
$\gamma_{mt} = 100 / (\sum P/\gamma)$	Baridade máxima teórica	0,001 gr./cm ³	2,519	2,504	2,482
$np = (\gamma_{mt} - \gamma_p) / \gamma_{mt} \cdot 100$	Porosidade dos provetes	0,10%	6,87	5,91	4,75
$cb = \gamma_p \cdot (\%b / \gamma_b)$	Teor volumétrico em betume	0,10%	7,97	9,15	10,33
$ni = np + cb$	Porosidade dos provetes s/ betume	0,10%	14,84	15,06	15,08
$sb = (cb / ni) \cdot 100$	Grau de saturação em betume	0,10%	53,72	60,75	68,48

Percentagem de betume			5,00	5,50
γ_p	Baridade dos provetes	0,001 gr./cm ³	2,365	2,363
$\gamma_{mt} = 100 / (\sum P/\gamma)$	Baridade máxima teórica	0,001 gr./cm ³	2,475	2,460
$np = (\gamma_{mt} - \gamma_p) / \gamma_{mt} \cdot 100$	Porosidade dos provetes	0,10%	4,44	3,94
$cb = \gamma_p \cdot (\%b / \gamma_b)$	Teor volumétrico em betume	0,10%	11,48	12,62
$ni = np + cb$	Porosidade dos provetes s/ betume	0,10%	15,93	16,56
$sb = (cb / ni) \cdot 100$	Grau de saturação em betume	0,10%	72,09	76,19

OBS:

Executou :

Verificou :

ENSAIO MARSHALL

ENSAIO MARSHALL - ROTURA DE PROVETES

Nº. Provete	% Bet.	Esp.	K	Estabilidade	Estab. corrigida	Deformação	Mód. rigidez
1	3,50	6,35	1,00	1566,00	1566,00	3,20	489
2	3,50	6,19	1,04	1456,00	1514,24	3,00	505
3	3,50	6,35	1,00	1563,00	1563,00	3,10	504
				Média	1547,75	3,10	499
4	4,00	6,19	1,04	1593,00	1656,72	3,90	425
5	4,00	6,35	1,00	1668,00	1668,00	3,50	477
6	4,00	6,19	1,04	1564,00	1626,56	3,30	493
				Média	1650,43	3,57	465
7	4,50	6,19	1,04	1631,00	1696,24	4,20	404
8	4,50	6,19	1,04	1618,00	1682,72	4,60	366
9	4,50	6,19	1,04	1654,00	1720,16	4,00	430
				Média	1699,71	4,27	400
10	5,00	6,19	1,04	1581,00	1644,24	4,60	357
11	5,00	6,35	1,00	1579,00	1579,00	4,50	351
12	5,00	6,19	1,04	1604,00	1668,16	4,60	363
				Média	1630,47	4,57	357
13	5,50	6,19	1,04	1500,00	1560,00	4,80	325
14	5,50	6,19	1,04	1485,00	1544,40	4,80	322
15	5,50	6,19	1,04	1462,00	1520,48	4,90	310
				Média	1541,63	4,83	319

OBS:

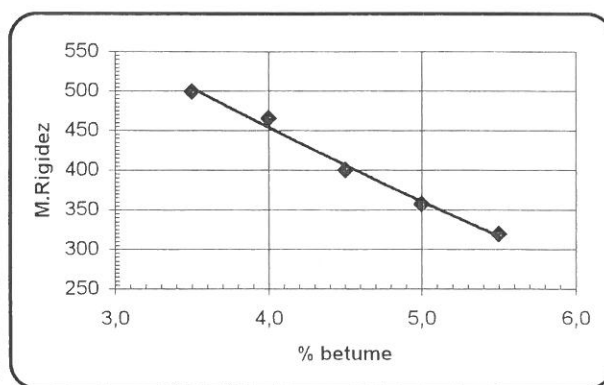
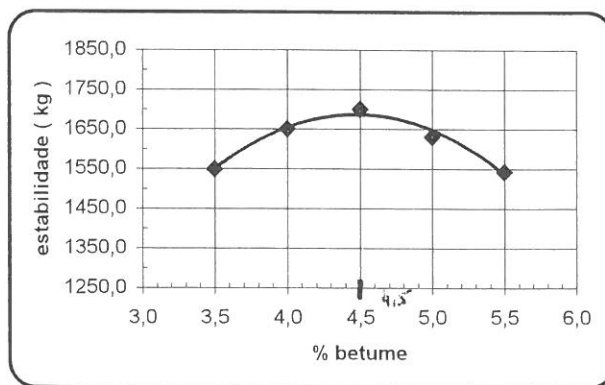
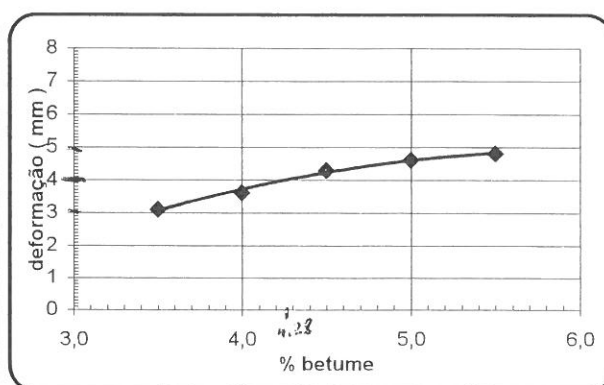
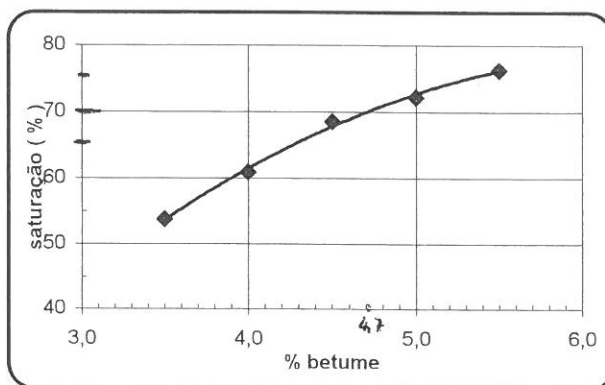
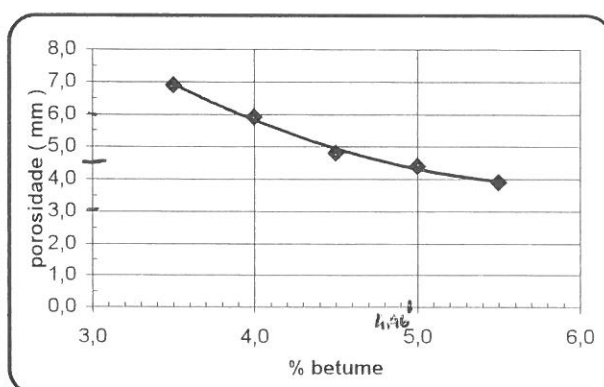
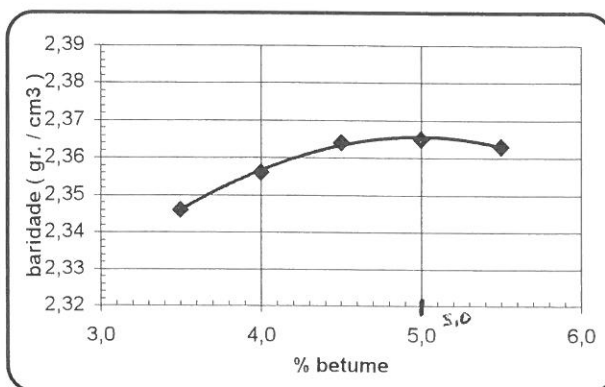
Executou :

Verificou :

Conclusões

ENSAIO MARSHALL

ENSAIO MARSHALL - RESUMO GRÁFICO



Conclusões :

Face ao estudo efectuado, a percentagem em betume, proposta para a realização dos trabalhos, é de 4,6 %.

Para esta percentagem em betume, propõe-se a seguinte composição :

16/25	8,6 %
10/16	45,8 %
5/10	5,7 %
0/5	35,3 %
Betume	4,6 %

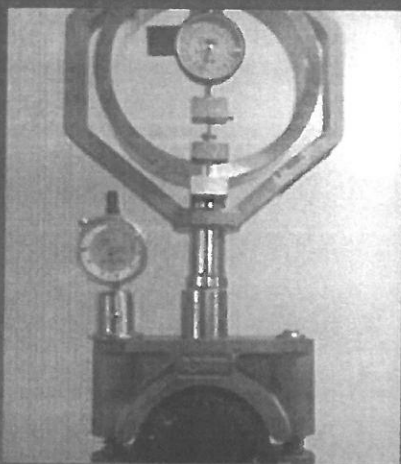
Por sua vez, a composição referida, terá aproximadamente as seguintes características :

Baridade dos provetes	2,364	g/cm ³
Porosidade	4,7	%
Grau de Saturação em betume	69,1	%
Estabilidade	1702	Kgf
Deformação	4,4	mm
Modulo de Rígidez	387	Kgf/mm

(Estes resultados foram obtidos de 3 provetes moldados na percentagem óptima de betume)

ANEXO II

Estudo Mistura Betuminosa Com Incorporação de Fresado



Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Mistura Betuminosa para Camada de Base

AC 20 BASE 35/50

ESTUDO PRÉVIO

1. Introdução

O presente estudo foi efectuado no nosso Laboratório.

A mistura betuminosa será fabricada numa central descontínua, marca Intrame e capacidade de 260 ton/hora instalada no Fundão – Quinta da Caçôa, na Pedreira do J. Bartolomeu, LDA .

Em Portugal, registou-se ao longo dos últimos vinte anos um forte investimento na construção rodoviária. Estando concluída grande parte da rede rodoviária nacional planeada, tem-se vindo a observar um natural abrandamento na construção de novas estradas e um aumento das despesas de conservação e reabilitação das estradas em serviço.

A selecção do processo de reabilitação mais adequado deverá basear-se em critérios de ordem técnica, económica e ambiental.

No que respeita à reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis, além das soluções tradicionais, existem outras técnicas de reciclagem do material proveniente das camadas betuminosas degradadas. A reciclagem a quente em central é uma das alternativas a que é apontado um maior potencial de crescimento em Portugal nos próximos anos.

A reciclagem a quente em central, muito usada noutros países, além das evidentes vantagens de ordem ambiental, é, na maioria das situações, tecnicamente viável e economicamente vantajosa.

Todavia, em Portugal identificam-se ainda poucas obras com recurso a esta técnica.

As misturas betuminosas recicladas, independentemente da técnica de reciclagem usada, podem ser aplicadas na obra de onde provêm – em camadas de reforço ou substituindo as camadas degradadas – ou ainda aplicadas em outras obras novas ou de reabilitação de pavimentos rodoviários.

As Misturas Betuminosas Recuperadas (RA) poderão ser utilizadas como materiais constituintes de misturas betuminosas fabricadas numa central de produção de misturas a quente, de acordo com as especificações aplicáveis a estas misturas.

1.1 Caracterização da Mistura Recuperada RA

A identificação e Classificação da Mistura Betuminosa Recuperada RA, necessita a execução de estudos granulométricos e de recuperação do betume proveniente do material fresado, de modo a estimar as características granulométricas e do ligante. Desta forma procedemos à extração do betume para a caracterizarmos granulométrica e dimensionalmente. A curva obtida, conforme será possível verificar em anexo, permite a incorporação de uma taxa de 35% de RA, sem condicionar o cumprimento do Fuso previsto para o **AC 20 BASE 35/50**. Salientamos também que a curva obtida se insere no Fuso actual do AC 14 SURF do actual Caderno de Encargos da EP, e da Obra.

PENEIRO (mm)	CURVA MISTURA (%) (Série Base + Série 2)
31.5 mm	100
20 mm	100
16 mm	98
14 mm	91
12.5 mm	84
10 mm	70
8 mm	61
6.3 mm	52
4 mm	41
2 mm	31
1 mm	24
0.5 mm	18
0.25 mm	13
0.125 mm	8
0.063 mm	4.5

Esta distribuição granulométrica permite-nos classificar a Mistura Betuminosa Reciclada RA, segundo a EN 13108-8, e o Caderno de Encargos como uma 20 RA 0/12.

Designação do novo constituinte**20 RA 0/12**

Ressalvamos ainda que após efectuarmos a adição de ácido clorídrico na fracção 0.063mm, detectamos a presença de agregado de natureza calcária (possivelmente cal hidráulica devido à forte reacção detectada na presença deste ácido).

1.2 Caracterização do Ligante

Neste sentido, foram efectuados estudos de recuperação do betume proveniente do material fresado, de forma a estimar as características do ligante. O principal intuito foi assegurar que o ligante final apresentará características similares ao do betume convencional previsto (35/50).

A Taxa de utilização de fresado na mistura em questão é de 35%, pelo que todo o estudo (quer granulométrico, quer no tipo de ligante a adicionar) foi elaborado com base nas características que esta ordem de grandeza de utilização do material poderia influenciar nos valores finais obtidos para a Mistura Betuminosa em questão.

Com base nos valores de estudo ao betume proveniente do material correspondente ao fresado, cujos ensaios são apresentados no estudo da Norvia, concluímos que o ligante em questão cumpre na íntegra os requisitos das Características de Conformidade do Ligante recuperado.

Valores Médios Obtidos no estudo da Norvia

Estudo Norvia	Ensaio	Média	Valor Normativo (Quadro 14.03.10.2c)
	Penetração (mm)	15.3 mm	≥15
	Anel e Bola (°C)	62.3 °C	≤70

Estudamos criteriosamente várias amostras provenientes do fresado a utilizar e constatamos que em termos médios o mesmo apresenta uma percentagem de betume de 5.1%.

1.3 Materiais Prejudiciais

De acordo com o Quadro 14.03.10.2a e 14.03.10.2b do CE verificamos a inexistência da presença de qualquer tipo de matéria estranha, desta forma o Constituinte (20 RA 0/12) a incorporar na mistura final enquadra-se na categoria F1.

Designação do novo constituinte	20 RA 0/12
Taxa de incorporação da Mistura Recuperada (RA)	35%
% Média de Betume existente na Amostra de Pavimento a recuperar	5.1%
% Ponderal de Betume proveniente de 35% de Fresado (RA)	% Betume Residual a considerar
(5.1% x 35% fresado) = 1.78%	1.78%
Categoria da Mistura Recupera (RA) quanto à presença de matéria estranha	F1
Categoria do Ligante Recuperado	P₁₅ ou S₇₀ *

*Aguardamos a recepção dos ensaios de caracterização mandados efectuar no exterior (CICCOPN), nomeadamente a Recuperação do Betume (EN 12697-3), Determinação da Temperatura de amolecimento "Anel e Bola" (EN 1427:2007) e Ensaio de Penetração (EN 1426:2007). Contudo, tendo em consideração que o pavimento a recuperar é relativamente recente e com base nos valores de estudo do mesmo apresentado pela Norvia à SCUTVIAS no projecto de execução da Obra, podemos considerar que o ligante em questão cumprirá na íntegra um dos requisitos das Características de Conformidade do Ligante recuperado, P₁₅ ou S₇₀ (EN 13108-8).

2. Componentes e Características

2.1 Componentes

MATERIAL	DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA / PROVENIÊNCIA
ABGE 0/32	Granito / J.Bartolomeu – Fundação
20 RA 0/12	BBD / Mistura Reciclada da Linha de Obra
PÓ 0/5	Granito / J.Bartolomeu – Fundação
BETUME 50/70	GALP

2.2 Características

A Mistura de Agregados para o fabrico da **Camada de Base AC 20 BASE 35/50** obedece às prescrições mencionadas no Caderno de Encargos da Obra.

ENSAIO	REFERÊNCIA NORMATIVA	Unidade	LIMITE CE	ABGE 0/32	20 RA 0/12	PÓ 0/5
QUALIDADE DOS FINOS	NP EN 933-9	g/Kg	MB _F 10	0.9	-	0.7
ÍNDICE ACHATAMENTO	NP EN 933-3	-	FI ₃₀	17	16	-
RESISTÊNCIA À FRAGMENTAÇÃO (LOS ANGELES)	NP EN 1097-2	%	LA ₄₀	26	-	-
RESISTÊNCIA AO DESGASTE COEFICIENTE MICRO-DEVAL	NP EN 1097-1	%	M _{DE} 25	7	-	-
RESISTÊNCIA AO POLIMENTO	NP EN 1097-8	%	NR	-	-	-
ABSORÇÃO DE ÁGUA	NP EN 1097-6	Mg/m ³	<<2	0.57%	-	0.3%

3. Mistura de Inertes Frios / Composição Granulométrica da Mistura

3.1 Percentagem de Inertes Frios

INERTES	% NA MISTURA
ABGE 0/32	55 %
20 RA 0/12	35 %
PÓ 0/5	10 %

3.2 Composição Granulométrica da Mistura

O Agregado a utilizar será de tal dimensão que a composição granulométrica da Mistura, determinada em peso, ficará compreendida dentro do Fuso existente no Caderno de Encargos. A Mistura Betuminosa com as Características seguidamente referidas, será aplicada em Camada de Base **(AC 20 BASE 35/50)** nos estratos de 7 cm de espessura final após compactação.

PENEIRO (mm)	BANDA CE (%) (Série Base + Série 2)		CURVA MISTURA (%)
31.5 mm	100	100	100
20 mm	90	100	91.8
12.5 mm	57	86	76.3
4.0 mm	34	49	44.8
2.0 mm	26	41	36.4
0.50 mm	12	26	21.3
0.125 mm	4	14	9.6
0.063 mm	2	7	5.4

3.3 Requisitos e Propriedades da Mistura

A Mistura Betuminosa a quente AC 20 BASE 35/50 com características de base, terá que cumprir os seguintes requisitos:

ENSAIO	REFERÊNCIA NORMATIVA	Unidade	LIMITE CE	
VMA	NP EN 12697-8	%	$VMA_{MIN}14$	
POROSIDADE V_m	NP EN 12697-8	%	$V_{min}3$	$V_{max}6$
IRC	MIL-STD-620A	%	80	
% LIGANTE MÍNIMA	-	%	$B_{min}3.5$	
SENSIBILIDADE À ÁGUA ITSr	-	%	Categoria a Declarar	
ESTABILIDADE MARSHALL	NP EN 12697-34	KN	$S_{max}21$	$S_{min}75$
DEFORMAÇÃO	NP EN 12697-34	mm	F2	F4
QUOCIENTE MARSHALL	NP EN 12697-34	KN/mm	$Q_{min}2$	

4. Percentagem de Betume óptima pelo Método Marshall

Na determinação da percentagem óptima de betume, foram moldados provetes com percentagens de betume compreendidas entre 3.5% e 5.5% de betume.

A moldagem foi efectuada a partir de fracções granulométricas, à temperatura de 160º C, com 2x75 pancadas de compactação mecânica para o ensaio carga/deformação, imersão a 60ºC durante 40 minutos.

A Baridade Máxima Teórica de moldagem, foi determinada pelo método do picnómetro de vácuo (NP EN 12697-5 Método A).

Determinaram-se as características da mistura, incluído o Índice de Resistência Conservada (MIL-STD-620A) para a percentagem de betume obtida, segundo o especificado no caderno de encargos.

Para a definição da Pb óptima consideramos os seguintes valores lidos nas curvas características:

- Baridade Marshall máxima
- Estabilidade Marshall máxima
- Deformação intermédia (2.0 a 4.0)=3.0
- Porosidade Intermédia - valor intermédio da prescrição (3.0 a 6.0) = 4.5 %

	LIMITE CE (%)	% Betume Óptimo da Mistura	Deformação
% Betume (em peso)	Mínimo 3.5 %	4.5	3.3

Sugerimos como valor óptimo de referência para esta mistura Betuminosa 4.5% de betume **(1.78% betume residual + 2.72% betume 50/70)**, cumprindo as características de Penetração e Temperatura de Amolecimento do betume pretendido (gama 35/50).

Passamos a apresentar a razão pela qual propomos a utilização de um betume 50/70.

De acordo com o especificado no Anexo 1 da Especificação do LNEC E 472-2006: Guia para Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central, para a utilização de uma percentagem de 4.5% final de ligante, a adição de 35% de RA com as características da que possuímos, condiciona vários factores. De modo a cumprir a gama de penetração 35/50 na mistura final, passamos a apresentar os cálculos que nos levaram a concluir a necessidade da utilização de um betume 50/70.

VALORES DE ESTUDO

Resultados Ensaio Fresado	Penetração (mm)	15,3
	Anel e Bola (°C)	62,3

Resultados Ensaio Declarado 50/70	Penetração (mm)	57
	Anel e Bola (°C)	48

Fresado (%bet.média)	5,1%
----------------------	------

Taxa de Utilização	35,0%	Fresado
	65,0%	Mistura

% Ponderal de Betume	1,79%	Fresado
----------------------	-------	---------

SIMULAÇÃO

% Betume AC 20 BASE 35/50

% Ligante	Variação % Bet. com 35% Fresado	VALORES REFERÊNCIA 35/50			
		Penetração (mm)		Anel e Bola (°C)	
		min	max	min	max
		35	50	50	58

4,5%	% bet. reciclado	1,79%	40%	40,44	53,65
	% bet. Novo	2,72%	60%		

5. Características Marshall

Seguidamente apresentamos os valores comparativos entre as prescrições do Caderno de Encargos, e os valores relativos à percentagem de betume obtidos pelo estudo Marshall.

(base)

ENSAIO	REFERÊNCIA NORMATIVA	Unidade	LIMITE CE		MARSHALL
VMA	NP EN 12697-8	%	VMA _{MIN} 14		14.3
POROSIDADE V _m	NP EN 12697-8	%	V _{min} 3	V _{max} 6	4.1
IRC	MIL-STD-620A	%	80		84
% LIGANTE MÍNIMA	-	%	B _{min} 3.5		4.5
SENSIBILIDADE À ÁGUA ITSr	-	%	Categoria a Declarar		-
ESTABILIDADE MARSHALL	NP EN 12697-34	KN	S _{min} 7.5	S _{max} 21	17.9
DEFORMAÇÃO	NP EN 12697-34	mm	F2	F4	3.3
QUOCIENTE MARSHALL	NP EN 12697-34	KN/mm	Q _{min} 2		5.5

6. Composição da mistura de frios e betume

INERTES	% NA MISTURA
ABGE 0/32	52.5 %
<i>Fusado</i> <i>cerado</i> 20 RA 0/12 <i>desgrul</i>	33.4 %
PÓ 0/5	9.6 %
BETUME 35/50	4.5%

7. Fórmula de Fabrico de Quentes

A formula de fabrico obtida após a transposição para a central será enviada antes do início da produção.

Vila Praia de Âncora, 29 de Junho de 2010

O responsável





AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE AURELIO MARTINS SOBREIRO

PROVENIÊNCIA: CAROTES DE DESGASTE EXTRAIDOS NA OBRA

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE PENEIRAÇÃO
NP EN 933-1 : 2000

AC14 SURF

AMOSTRA: 2067

DATA DE RECEPÇÃO 2010-06-16

Peneiros (mm)	Material retido			% acum. que passa
	Peso Ri (Kg)	%(0.1)	% acum.	
63				100
45				100
40				100
31,5				100
22,4				100
20				100
16	0,0342	1,8	1,8	98
14	0,1341	6,9	8,7	91
12,5	0,1440	7,5	16,2	84
11,2	0,1457	7,5	23,7	76
10	0,1204	6,2	29,9	70
8	0,1797	9,3	39,2	61
6,3	0,1659	8,6	47,8	52
5	0,1253	6,5	54,3	46
4	0,0814	4,2	58,5	42
2	0,1961	10,2	68,7	31
1	0,1467	7,6	76,3	24
0,5	0,1144	5,9	82,2	18
0,25	0,1012	5,2	87,4	13
0,125	0,0945	4,9	92,3	8
0,063	0,0593			

Procedimento: Lavagem e Peneiração
peneiração a seco

Massa seca total (Kg) M1 : 1,9302

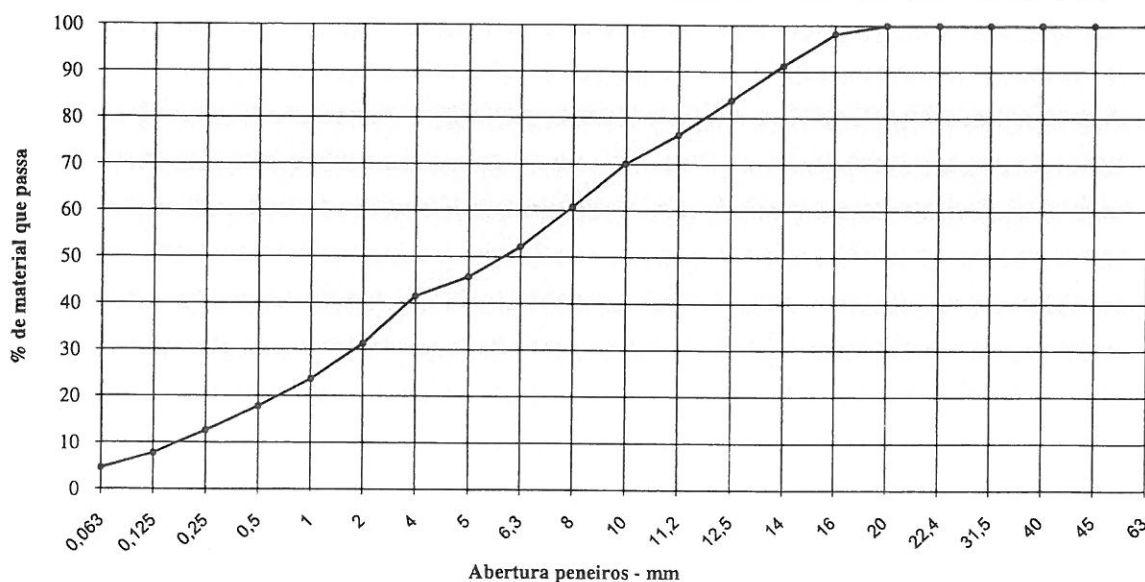
Massa seca após lavagem (Kg) M2 : 1,9191

Massa seca dos finos removidos por lavagem (Kg) M1-M2 = 0,0111

Massa seca do < 63µm após peneiração P : 0,0762

% finos que passa em 63 µm f : 4,5
$$\frac{((M1-M2)+P)}{M1} \cdot 100$$

Critério de aceitação do Ensaio
$$\frac{M2 - (\sum Ri + P)}{M2} \cdot 100 = < 1\% \text{ Ok}$$



Obs.:

Percentagem de betume mufla = 5,1%



AURÉLIO MARTINS SOBRINHO & F.º S.º A.
Laboratório de Testes e Ensaios

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA

PROVENIÊNCIA: COLHEITA NA PEDREIRA

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE PENEIRAÇÃO
NP EN 933-1 : 2000

ABGE 0/32

AMOSTRA: 2085

DATA DE RECEPCÃO 2010-06-24

Peneiros (mm)	Material retido			% acum. que passa
	Peso Ri (Kg)	% (0.1)	% acum.	
63				100
45				100
40				100
31,5				100
22,4				100
20	1,6623	15,1	15,1	85
16	0,9169	8,3	23,4	77
14	0,6064	5,5	28,9	71
12,5	0,4869	4,4	33,3	67
11,2	0,3612	3,3	36,6	63
10	0,3521	3,2	39,8	60
8	0,7126	6,5	46,3	54
6,3	0,5545	5,0	51,3	49
5	0,5392	4,9	56,2	44
4	0,3974	3,6	59,8	40
2	0,5081	4,6	64,4	36
1	0,7276	6,6	71,0	29
0,5	0,7521	6,8	77,8	22
0,25	0,7263	6,6	84,4	16
0,125	0,6617	6,0	90,4	10
0,063	0,4435			

Procedimento: Lavagem e Peneiração
peneiração a seco

Massa seca total (Kg) M1 : 10,9940

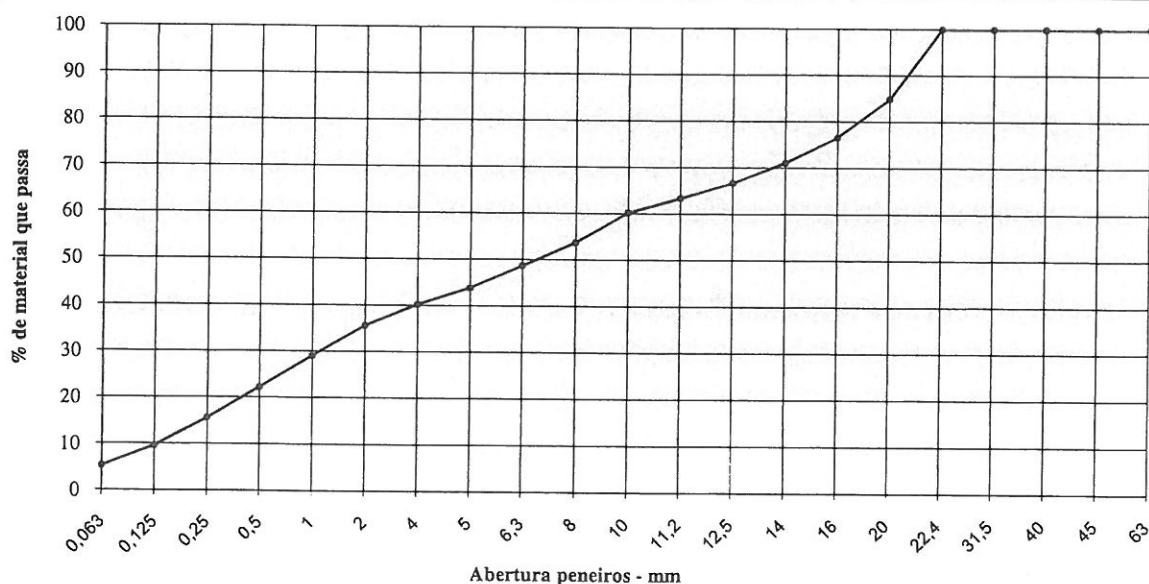
Massa seca após lavagem (Kg) M2 : 10,4480

Massa seca dos finos
removidos por lavagem (Kg) M1-M2 = 0,5460

Massa seca do < 63µm após
peneiração P : 0,0328

% finos que passa em 63
µm f : 5,3
$$\frac{((M1-M2)+P)/M1}{100} \times 100$$

Critério de aceitação do Ensaio
$$\frac{M2 - (2Ri + P)}{M2} \times 100 = 0 < 1\% \text{ Ok}$$



Obs.:

Mod.129/GQ.1

Elaborado:

Data:

Aprovado:

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA	
PROVENIÊNCIA COLHEITA NA PEDREIRA	
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FINOS ENSAIO DO EQUIVALENTE DE AREIA NP EN 933 - 8 : 2002	ABGE 0/32 AMOSTRA: 2085 DATA DE RECEPÇÃO 2010-06-24

EQUIVALENTE DE AREIA - FRACÇÃO 0/2 mm

TEOR DE ÁGUA DOS PROVETES			
P1		Peso da capsula	402,4
P2		Peso da capsula mais areia húmida	625,4
P3		Peso da capsula mais areia sêca	622,4
M1	P3-P1	Massa da areia sêca	220
M2	P2-P3	Massa da água	3
w	M2/M1*100	Teor de água	1,4
w	Teor de água médio		1,4

Número do Provete		1	2
Massa do provete elementar (g)		122	122
h1	Distância entre o nível superior do floculado e a base da proveta - (mm)	138	138
h2	Distância entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a face superior do anel - (mm)	76	74
(h2 / h1) * 100		55,1	53,6

Critério de aceitação do ensaio Os valores de (h2/h1)*100 dos dois provetes não deverão divergir mais do que 4	1 < 4 Ok
---	---------------

Equivalente de areia (SE) = 54

Obs.:



AURELIO MARTINS SOUZEIRO & F. L. S. A.
Consultoria e Comércio Exterior

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA

PROVENIÊNCIA COLHEITA NA PEDREIRA

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FINOS
ENSAIO DO AZUL DE METILENO
NP EN 933-9 : 2002

ABGE 0/32

AMOSTRA: 2085

DATA DE
RECEPÇÃO 2010-06-24

ENSAIO DO AZUL DE METILENO

VALOR DE AZUL DE METILENO DA CAULINITE : MBk= g/100g

M1	MASSA SÊCA DA FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA 0/2mm (g)	213	
M2	MASSA DA CAULINITE (SE UTILIZADA) (g)		
V'	VOLUME DE SOLUÇÃO ABSORVIDA PELA CAULINITE (SE UTILIZADA) (ml)		
V	VOLUME DE SOLUÇÃO ADICIONADA (ml)	20	

$MB = ((V - V') / M1) * 10$	VALOR DE AZUL DE METILENO (g/Kg)	0,9	
-----------------------------	------------------------------------	-----	--

MB = VALOR DE AZUL DE METILENO (g/Kg) 0,9

TESTE POSITIVO

Obs.:

Mod.131/GQ.0

Elaborado:

Aprovado:

Data:

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBRINHO & F.º S.º A.
Consultoria e Serviços Técnicos

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA

PROVENIÊNCIA: COLHEITA NA PEDREIRA

DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLUMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA
NP EN 1097-6 : 2003

ABGE 0/32

AMOSTRA: 2085

DATA DE RECEPÇÃO 2010-06-24

METODO DO CESTO:

TEMPERATURA DE ENSAIO:	21°
------------------------	-----

ρ_w	DENSIDADE DA ÁGUA À TEMP. DO ENSAIO	0,998
----------	-------------------------------------	-------

		FRACÇÃO: 4/31,5	FRACÇÃO:	
m1 (g)	MASSA DO PROVETE COM AS PARTÍCULAS SATURADAS	1518,7	1614,6	
m2 (g)	MASSA DO CESTO IMERSO COM O PROVETE	3738,2	3797,3	
m3 (g)	MASSA DO CESTO IMERSO VAZIO	2785,1	2785,4	
m4 (g)	MASSA SÊCA DO PROVETE	1512,3	1607,4	
$\rho_a = \rho_w * m4 / [m4 - (m2 - m3)]$	DENS. APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m³)	2,699	2,694	
$\rho_{rd} = \rho_w * m4 / [m1 - (m2 - m3)]$	DENS. DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m³)	2,668	2,662	
$\rho_{ssd} = \rho_w * m1 / [m1 - (m2 - m3)]$	DENS. DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m³)	2,680	2,674	
WA24 = $[100 * (m1 - m4)] / m4$	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	0,42	0,45	

METODO DO PICNÓMETRO

TEMPERATURA DE ENSAIO:	21°
------------------------	-----

ρ_w	DENSIDADE DA ÁGUA À TEMP. DO ENSAIO	0,998
----------	-------------------------------------	-------

		FRACÇÃO: 0,063/4	FRACÇÃO:	
m1 (g)	MASSA DO PROVETE COM AS PARTÍCULAS SATURADAS	570,0	642,7	
m2 (g)	MASSA DO PICNÓMETRO+ÁGUA+PROVETE	1845,8	1989,6	
m3 (g)	MASSA DO PICNÓMETRO COM ÁGUA	1492,9	1591,9	
m4 (g)	MASSA SÊCA DO PROVETE	565,7	637,6	
$\rho_a = \rho_w * m4 / [m4 - (m2 - m3)]$	DENS. APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m³)	2,654	2,653	
$\rho_{rd} = \rho_w * m4 / [m1 - (m2 - m3)]$	DENS. DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m³)	2,601	2,597	
$\rho_{ssd} = \rho_w * m1 / [m1 - (m2 - m3)]$	DENS. DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m³)	2,621	2,618	
WA24 = $[100 * (m1 - m4)] / m4$	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	0,76	0,80	

FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA	4/31,5	0,063/4
MÉTODO DE ENSAIO	CESTO	PICNÓM.
DENSIDADE APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m³)	2,70	2,65
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m³)	2,67	2,60
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m³)	2,68	2,62
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	0,44	0,78

Obs:

Mod.135/GQ.0

Elaborado:

Aprovado:

Data:

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA	
PROVENIÊNCIA COLHEITA NA PEDREIRA	
DETERMINAÇÃO DA FORMA DAS PARTÍCULAS - ÍNDICE DE ACHATAMENTO NP EN 933-3 : 2002	ABGE 0/32 AMOSTRA: 2085 DATA DE RECEPÇÃO 2010-06-24

MASSA DO PROVETE (M_0) = 10994

MASSA RETIDA NO PENEIRO DE 80 mm (g) =

MASSA PASSADA NO PENEIRO DE 4 mm (g) = 4404,5

SOMA DAS MASSAS REJEITADAS (g) = 4404,5

PENEIRAÇÃO EM PENEIROS DE ENSAIO		PENEIRAÇÃO EM PENEIROS DE BARRAS		
FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA d/D_i	MASSA DA FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA d/D_i	LARGURA NOMINAL DA RANHURA DO PENEIRO DE BARRAS	MASSA PASSADA NO PENEIRO DE BARRAS	$FI_i = (m_i/R_i) \cdot 100$
(mm)	R_i (g)	(mm)	m_i (g)	
63 / 80		40,0		
50 / 63		31,5		
40 / 50		25,0		
31,5 / 40		20,0		
25 / 31,5		16,0		
20 / 25	1662,3	12,5	174,7	10,5
16 / 20	916,9	10,0	187,4	20,4
12,5 / 16	1093,3	8,0	169,6	15,5
10 / 12,5	713,3	6,3	121,2	17,0
8 / 10	712,6	5,0	160,4	22,5
6,3 / 8	554,5	4,0	131,3	23,7
5 / 6,3	539,2	3,2	119,1	22,1
4 / 5	397,4	2,5	79,3	20,0

M_1 (g) = ΣR_i :	6589,5	M_2 (g) = Σm_i :	1143,0
----------------------------	--------	----------------------------	--------

CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DO ENSAIO	$\frac{(M_0 - (\Sigma R_i + \Sigma \text{massas rejeitad.})) \cdot 100}{M_0}$	< 1%	OK
---------------------------------	---	------	----

ÍNDICE GERAL DE ACHATAMENTO $FI = (M_2/M_1) \cdot 100 = 17$

Obs.:

Mod.134/GQ.0	Elaborado:	Aprovado:
	Data:	Data:



AURÉLIO MARTES SOBRINHO & F. Lda. S.A.
Consultoria e Laboratório

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA

PROVENIÊNCIA COLHEITA NA PEDREIRA

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FRAGMENTAÇÃO PELO MÉTODO DE
LOS ANGELES

NP EN 1097-2 : 2002

ABGE 0/32

AMOSTRA: 2085

DATA DE
RECEPÇÃO 2010-06-24

CLASSIFICAÇÕES ALTERNATIVAS AO ENSAIO DE LOS ANGELES COM BANDAS MAIS ESTREITAS

FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA mm	NÚMERO DE ESFERAS DE AÇO	MASSA DAS ESFERAS g
4 a 8	8	3410 a 3540
6,3 a 10	9	3840 a 3980
8 a 11,2	10	4260 a 4420
11,2 a 16	12	5120 a 5300

FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA ADOPTADA (mm) 10/14

FRACÇÕES	M _i - (g)	P - % QUE PASSA EM 12,5	Critério de aceitação
10 a 12,5	3000	60%	60% < P < 70% Ok
12,5 a 14	2000		

M (g) = 5000

m - massa retida no peneiro de 1,6mm (g) = 3680,2

COEFICIENTE DE LOS ANGELES (LA) = (M - m) / 50 = 26

Obs.:

Mod.132/GQ.0

Elaborado:

Aprovado:

Data:

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBRINHO & F. Lda. S.A.
Consultoria e Treinamento

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA
PROVENIÊNCIA: COLHEITA NA PEDREIRA

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE PENEIRAÇÃO NP EN 933-1 : 2000

Pó 0/5
AMOSTRA: 2073
DATA DE RECEPCÃO 2010-06-21

Peneiros (mm)	Material retido			% acum. que passa
	Peso Ri (Kg)	% (0.1)	% acum.	
63				100
45				100
40				100
31,5				100
22,4				100
20				100
16				100
14				100
12,5				100
11,2				100
10				100
8				100
6,3	0,0011	0,1	0,1	100
5	0,1276	6,3	6,4	94
4	0,2574	12,7	19,1	81
2	0,4827	23,9	43,0	57
1	0,3325	16,5	59,5	41
0,5	0,2266	11,2	70,7	29
0,25	0,1789	8,9	79,6	20
0,125	0,1480	7,3	86,9	13
0,063	0,0870			

Procedimento: Lavagem e Peneiração
peneiração a seco

Massa seca total (Kg) M1 : 2,0191

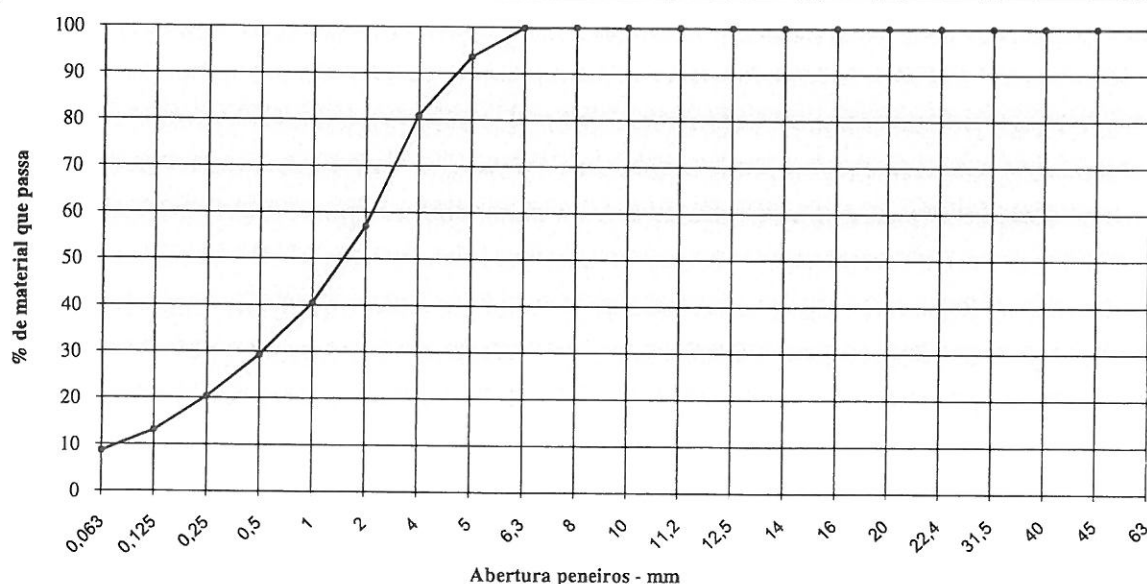
Massa seca após lavagem (Kg) M2 : 1,8477

Massa seca dos finos removidos por lavagem (Kg) M1-M2 = 0,1714

Massa seca do < 63µm após peneiração P : 0,0031

% finos que passa em 63 µm f : 8,6
(((M1-M2)+P)/M1)*100

Critério de aceitação do Ensaio
M2 - (ERi + P) *100= 0 < 1% Ok
M2



Obs.:

Mod.129/GQ.1

Elaborado:
Data:

Aprovado:
Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA	
PROVENIÊNCIA COLHEITA NA PEDREIRA	
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FINOS ENSAIO DO EQUIVALENTE DE AREIA NP EN 933 - 8 : 2002	P6 0/5 AMOSTRA: 2073 DATA DE RECEPÇÃO 2010-06-21

EQUIVALENTE DE AREIA - FRACÇÃO 0/2 mm

TEOR DE ÁGUA DOS PROVETES				
P1		Peso da capsula	303,2	
P2		Peso da capsula mais areia húmida	450,4	
P3		Peso da capsula mais areia seca	448,5	
M1	P3-P1	Massa da areia seca	145,3	
M2	P2-P3	Massa da água	1,9	
w	M2/M1*100	Teor de água	1,3	
w	Teor de água médio		1,3	

Número do Provete		1	2
Massa do provete elementar (g)		122	122
h1	Distância entre o nível superior do floculado e a base da proveta - (mm)	128	129
h2	Distância entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a face superior do anel - (mm)	77	79
(h2 / h1) * 100		60,2	61,2

Critério de aceitação do ensaio Os valores de (h2/h1)*100 dos dois provetes não deverão divergir mais do que 4	1 < 4 Ok
---	----------

Equivalente de areia (SE) = 61

Obs.:



AURÉLIO MARTINS SOUZEIRO & F. L. S. A.
Granulometria e Outras Funções

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA

PROVENIÊNCIA: COLHEITA NA PEDREIRA

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FINOS
ENSAIO DO AZUL DE METILENO
NP EN 933-9 : 2002

P6 0/5
AMOSTRA: 2073
DATA DE
RECEPÇÃO 2010-06-21

ENSAIO DO AZUL DE METILENO

VALOR DE AZUL DE METILENO DA CAULINITE : MBk= g/100g

M1	MASSA SÊCA DA FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA 0/2mm (g)	202	
M2	MASSA DA CAULINITE (SE UTILIZADA) (g)		
V'	VOLUME DE SOLUÇÃO ABSORVIDA PELA CAULINITE (SE UTILIZADA) (ml)		
V	VOLUME DE SOLUÇÃO ADICIONADA (ml)	16	

$MB = ((V - V') / M1) * 10$	VALOR DE AZUL DE METILENO (g/Kg)	0,8	
-----------------------------	------------------------------------	-----	--

MB = VALOR DE AZUL DE METILENO (g/Kg)	0,8
---	-----

TESTE POSITIVO	
----------------	--

Obs.:

Mod.131/GQ.0

Elaborado:

Aprovado:

Data:

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
REQUERENTE J BARTOLOMEU LDA	
PROVENIÊNCIA: COLHEITA NA PEDREIRA	
DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLUMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA NP EN 1097-6 : 2003	Pó 0/5 AMOSTRA: 2073 DATA DE RECEPÇÃO: 2010-06-21

METODO DO CESTO:

TEMPERATURA DE ENSAIO:		ρ _w	DENSIDADE DA ÁGUA À TEMP. DO ENSAIO
------------------------	--	----------------	-------------------------------------

		FRACÇÃO:		FRACÇÃO:	
m1 (g)	MASSA DO PROVETE COM AS PARTÍCULAS SATURADAS				
m2 (g)	MASSA DO CESTO IMERSO COM O PROVETE				
m3 (g)	MASSA DO CESTO IMERSO VAZIO				
m4 (g)	MASSA SÊCA DO PROVETE				
pa= ρ _w * m4/[m4-(m2-m3)]	DENS. APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m ³)				
prd= ρ _w * m4/[m1-(m2-m3)]	DENS. DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m ³)				
pssd= ρ _w * m1/[m1-(m2-m3)]	DENS. DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m ³)				
WA24= [100*(m1-m4)]/m4	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)				

METODO DO PICNÓMETRO

TEMPERATURA DE ENSAIO:	21°	ρ _w	DENSIDADE DA ÁGUA À TEMP. DO ENSAIO
------------------------	-----	----------------	-------------------------------------

		FRACÇÃO: 0,063/4		FRACÇÃO:	
m1 (g)	MASSA DO PROVETE COM AS PARTÍCULAS SATURADAS	659,1	735,4		
m2 (g)	MASSA DO PICNÓMETRO+ÁGUA+PROVETE	1868,7	1909,6		
m3 (g)	MASSA DO PICNÓMETRO COM ÁGUA	1457,7	1451,8		
m4 (g)	MASSA SÊCA DO PROVETE	656,9	732,6		
pa= ρ _w * m4/[m4-(m2-m3)]	DENS. APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m ³)	2,666	2,661		
prd= ρ _w * m4/[m1-(m2-m3)]	DENS. DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m ³)	2,642	2,634		
pssd= ρ _w * m1/[m1-(m2-m3)]	DENS. DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m ³)	2,651	2,644		
WA24= [100*(m1-m4)]/m4	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	0,33	0,38		

FRACÇÃO GRANULOMÉTRICA			0,063/4
MÉTODO DE ENSAIO			PICNÓM.
DENSIDADE APARENTE DAS PARTICULAS (Mg/m ³)			2,66
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÊCAS (Mg/m ³)			2,64
DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SATURADAS (Mg/m ³)			2,65
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			0,36

Obs:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

ESTUDO MARSHALL



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.º, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS	AC 20 BASE 35/50
	AMOSTRA: 2
	PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | - | CURVA GRANULOMETRICA DA MISTURA |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EN 12697 - 5 / A | DENSIDADE MÁXIMA |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EN 12697 - 6 / SSD | BARIDADE DE PROVETES |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EN 12697 - 34 | ESTABILIDADE MARSHALL |
| <input checked="" type="checkbox"/> | MIL STD - 620 A | RESISTÊNCIA CONSERVADA MARSHALL |
| <input type="checkbox"/> | EN 12697 - 12 | SENSIBILIDADE À ÁGUA DE PROVETES BETUMINOSOS |
| <input checked="" type="checkbox"/> | - | CURVAS CARACTERISTICAS |

Obs.:

Mod.107/GQ.1

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.º, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS CURVA DA MISTURA

AC 20 BASE 35/50

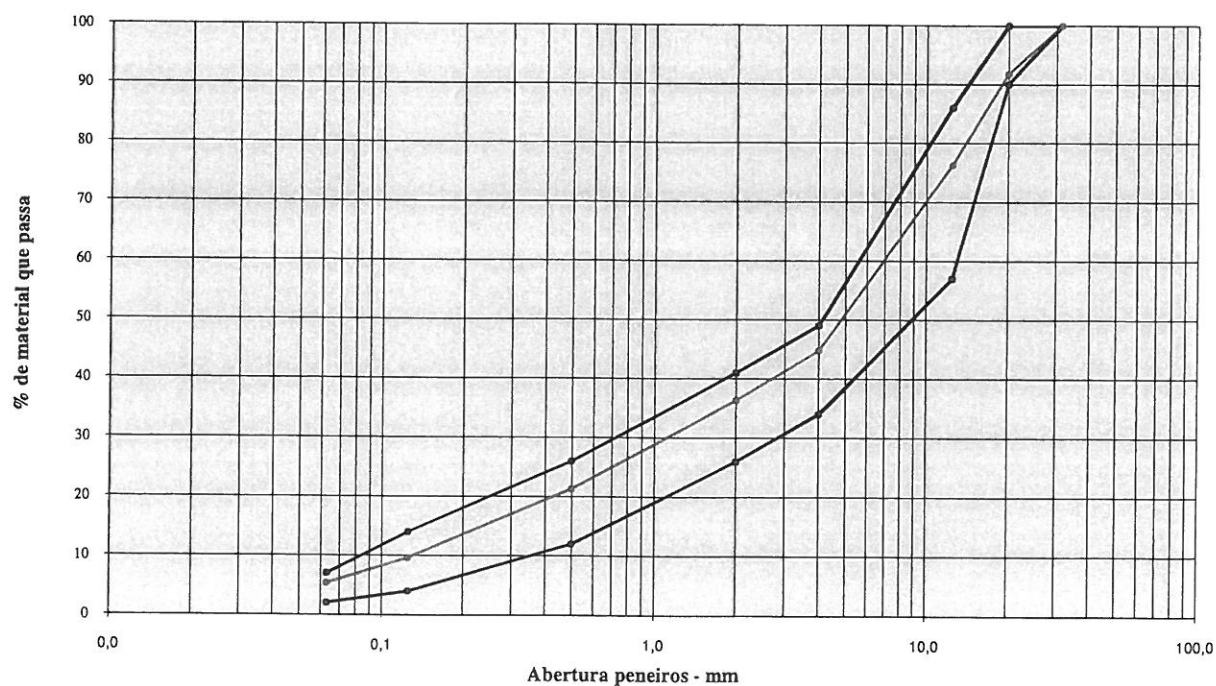
AMOSTRA: 2

PK

ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA							Curva da Mistura	Fuso granulométrico	
Peneiros mm	% Material Passado								
	ABGE	20 RA 0/12			Po 0/5				
							100,0		
31,5	100,0	100,0			100,0		100,0	100	100
20,0	85,0	100,0			100,0		91,8	90	100
12,5	67,0	84,0			100,0		76,3	57	86
4,0	40,0	42,0			81,0		44,8	34	49
2,0	36,0	31,0			57,0		36,4	26	41
0,50	22,0	18,0			29,0		21,3	12	26
0,125	10,0	8,0			13,0		9,6	4	14
0,063	5,3	4,5			8,6		5,4	2	7

% 55,0 35,0 10,0 100,0



Obs:

Mod.157/GQ.0

Elaborado:

[Signature]

Verificado:

[Signature]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & FILHOS, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO: 0

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROJETOS BETUMINOSOS

EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 2

PK: 0

ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Porcentagem de Betume

3,5%

Baridade Máxima Teórica

2506 Kg/m³

Temperatura da água

22°C

ρ_w - Massa Vol. Água Temp. ensaio

997,8 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Número do ensaio		20	21	22	23
h	Altura do provete - mm	63,18	62,97	63,48	63,26
d	Diâmetro do provete - mm	102,78	102,78	102,78	102,15
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1189,7	1190,3	1190,7	1191,4
m ₂	Peso do provete na água - g	691,6	694,3	692,2	691,5
m ₃	Peso provete saturado com a superfície seca - g	1199,5	1202	1201,1	1199,9
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w - \text{Kg/m}^3$		2337	2339	2335	2338
$\rho_{b, \text{dim}} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6 - \text{Kg/m}^3$					

BARIDADE MÉDIA DOS PROJETOS

2337 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs. S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROVETES BETUMINOSOS

EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 2

PK:

ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Percentagem de Betume

4,0%

Baridade Maxima Teorica

2490 Kg/m³

Temperatura da água

22°C

ρ_w - Massa Vol. Agua Temp. ensaio

997,8 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Numero do ensaio		24	25	26	27
h	Altura do provete - mm	63,48	63,26	62,78	61,99
d	Diametro do provete - mm	102,78	102,15	102,8	102,07
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1192,7	1190,9	1195,3	1190,6
m ₂	Peso do provete na água - g	698,4	696,8	697,8	692,4
m ₃	Peso provete saturado com a superfície seca - g	1203,2	1201,6	1203,9	1196,4
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w - \text{Kg/m}^3$		2358	2354	2357	2357
$\rho_{b,dim} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6 - \text{Kg/m}^3$					

BARIDADE MÉDIA DOS PROVETES

2356 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs. S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROVETES BETUMINOSOS

EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 2

PK:

ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Percentagem de Betume

4,5%

Baridade Maxima Teorica

2472 Kg/m³

Temperatura da água

22°C

ρ_w - Massa Vol. Agua Temp. ensaio

997,8 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Numero do ensaio		28	29	30	31
h	Altura do provete - mm	61,99	62,9	64,84	63,12
d	Diametro do provete - mm	102,07	101,88	101,92	101,9
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1191,3	1192,8	1192,1	1192,6
m ₂	Peso do provete na água - g	696,7	697,5	695	695,6
m ₃	Peso provete saturado com a superficie secca - g	1196,5	1198,3	1200	1196,6
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w$ - Kg/m ³		2378	2377	2355	2375
$\rho_{b,dim} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6$ - Kg/m ³					

BARIDADE MÉDIA DOS PROVETES

2371 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ªs, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROJETOS BETUMINOSOS

EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 2

PK:

ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Porcentagem de Betume

5,0%

Baridade Máxima Teórica

2457 Kg/m³

Temperatura da água

22°C

ρ_w - Massa Vol. Água Temp. ensaio

997,8 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Número do ensaio		32	33	34	35
h	Altura do provete - mm	63,36	62,81	61,68	61,96
d	Diâmetro do provete - mm	101,94	101,72	102,58	101,65
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1191,4	1192,6	1197,6	1186,4
m ₂	Peso do provete na água - g	693,7	694,2	698,3	691,1
m ₃	Peso provete saturado com a superfície seca - g	1193	1194	1199,9	1188,9
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w - \text{Kg/m}^3$		2381	2381	2382	2378
$\rho_{b,dim} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6 - \text{Kg/m}^3$					

BARIDADE MÉDIA DOS PROJETOS

2381 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs. S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LOCALIZAÇÃO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS
DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROJETOS BETUMINOSOS
EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50
AMOSTRA: 2
PK:
ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Percentagem de Betume

5,5%

Baridade Maxima Teorica

2439 Kg/m³

Temperatura da água

22°C

ρ_w - Massa Vol. Agua Temp. ensaio

997,8 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Numero do ensaio		36	37	38	39
h	Altura do provete - mm	61,96	61,55	63,13	62,63
d	Diametro do provete - mm	101,65	101,8	102,79	102,11
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1186,4	1195,5	1193	1191
m ₂	Peso do provete na água - g	687,9	695,4	694,5	692,6
m ₃	Peso provete saturado com a superfície seca - g	1186,7	1196	1194,6	1192,9
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w - \text{Kg/m}^3$		2373	2383	2380	2375
$\rho_{b, \text{dim}} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6 - \text{Kg/m}^3$					

BARIDADE MÉDIA DOS PROJETOS

2378 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA EN 12697 - 5 / METODO A - VOLUMÉTRICO	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 2 PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

1 - DENSIDADE MÁXIMA

NUMERO DO ENSAIO		1	
Líquido Utilizado:		ÁGUA	
Temperatura do Ensaio (°C)		23°	
ρ_w	Densidade do líquido á temperatura de ensaio (Kg/m³)	997,60	
V_p	Volume do picnómetro (m³)	0,0102282	
m_1	Massa do picnómetro vazio (g)	1637	
m_2	Massa do picnómetro com amostra (g)	3637	
m_3	Massa do picnómetro cheio com água e amostra (g)	13045	
$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / (1000 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w)$		DENSIDADE MÁXIMA DA MISTURA (Kg/m³)	2506

2 - DENSIDADE APARENTE DO AGREGADO DA MISTURA BETUMINOSA

G 1	B / ρ_B	(0,01)	0,0034
G 2	100 - B	(0,01)	96,50
G 3	$\rho_{mv} * G1$	(0,01)	8,43
G 4	$\rho_{mv} * G2$	(0,01)	241866,53
G 5	100 - G3	(0,01)	91,57
ρ_a	G4 / G5	(Kg/m³)	2641

RESUMO		
ρ_a - Densidade Aparente do Agregado (Kg/m³)		2641 kg/m3
ρ_B - Massa volumica do Betume a 25° C (Kg/m³)		1040 kg/m3
ρ_{mv} - Densidade máxima da mistura betuminosa (Kg/m³)		2506 kg/m3
B - % de Betume (%)		3,5%

Obs:

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO		
CENTRAL:	Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:		
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS		AC 20 BASE 35/50
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA		AMOSTRA: 2
EN 12697 - 5 / METODO A - VOLUMÉTRICO		PK:
		ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

1 - DENSIDADE MÁXIMA

NUMERO DO ENSAIO		1	
Líquido Utilizado:		ÁGUA	
Temperatura do Ensaio (°C)		23°	
ρ_w	Densidade do líquido á temperatura de ensaio (Kg/m³)	997,60	
V_p	Volume do picnómetro (m³)	0,0102282	
m_1	Massa do picnómetro vazio (g)	1637	
m_2	Massa do picnómetro com amostra (g)	3628	
m_3	Massa do picnómetro cheio com água e amostra (g)	13034	
$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / (1000 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w)$		DENSIDADE MÁXIMA DA MISTURA (Kg/m³)	2490

2 - DENSIDADE APARENTE DO AGREGADO DA MISTURA BETUMINOSA

G 1	B / ρ_B	(0,01)	0,0038
G 2	100 - B	(0,01)	96,00
G 3	$\rho_{mv} * G1$	(0,01)	9,58
G 4	$\rho_{mv} * G2$	(0,01)	239055,97
G 5	100 - G3	(0,01)	90,42
ρ_a	G4 / G5	(Kg/m³)	2644

RESUMO		
ρ_a - Densidade Aparente do Agregado	(Kg/m³)	2644 kg/m3
ρ_B - Massa volumica do Betume a 25° C	(Kg/m³)	1040 kg/m3
ρ_{mv} - Densidade máxima da mistura betuminosa	(Kg/m³)	2490 kg/m3
B - % de Betume	(%)	4,0%

Obs:

Elaborado: *[Assinatura]* Verificado: *[Assinatura]* Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA EN 12697 - 5 / METODO A - VOLUMÉTRICO	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 2 PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

1 - DENSIDADE MÁXIMA


NUMERO DO ENSAIO		1	
Liquido Utilizado:		ÁGUA	
Temperatura do Ensaio (°C)		23°	
ρ_w	Densidade do liquido á temperatura de ensaio (Kg/m³)	997,60	
V_p	Volume do picnómetro (m³)	0,0102282	
m_1	Massa do picnómetro vazio (g)	1637	
m_2	Massa do picnómetro com amostra (g)	3628	
m_3	Massa do picnómetro cheio com água e amostra (g)	13028	
$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / (1000 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w)$	DENSIDADE MÁXIMA DA MISTURA (Kg/m³)	2472	

2 - DENSIDADE APARENTE DO AGREGADO DA MISTURA BETUMINOSA

G 1	B / ρ_B	(0,01)	0,0043
G 2	100 - B	(0,01)	95,50
G 3	$\rho_{mv} * G1$	(0,01)	10,70
G 4	$\rho_{mv} * G2$	(0,01)	236052,26
G 5	100 - G3	(0,01)	89,30
ρ_a	G4 / G5	(Kg/m³)	2643

RESUMO		
ρ_a - Densidade Aparente do Agregado	(Kg/m³)	2643 kg/m3
ρ_B - Massa volumica do Betume a 25° C	(Kg/m³)	1040 kg/m3
ρ_{mv} - Densidade máxima da mistura betuminosa	(Kg/m³)	2472 kg/m3
B - % de Betume	(%)	4,5%

Obs:

Elaborado:  Verificado:  Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA EN 12697 - 5 / METODO A - VOLUMÉTRICO	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 2 PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

1 - DENSIDADE MÁXIMA

NUMERO DO ENSAIO		1	
Liquido Utilizado:		ÁGUA	
Temperatura do Ensaio (°C)		23°	
ρ_w	Densidade do liquido á temperatura de ensaio (Kg/m³)	997,60	
V_p	Volume do picnómetro (m³)	0,0102282	
m_1	Massa do picnómetro vazio (g)	1638	
m_2	Massa do picnómetro com amostra (g)	3621	
m_3	Massa do picnómetro cheio com água e amostra (g)	13019	
$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / (1000 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w)$		DENSIDADE MÁXIMA DA MISTURA (Kg/m³)	2457

2 - DENSIDADE APARENTE DO AGREGADO DA MISTURA BETUMINOSA

G 1	B / ρ_B	(0,01)	0,0048
G 2	100 - B	(0,01)	95,00
G 3	$\rho_{mv} * G1$	(0,01)	11,81
G 4	$\rho_{mv} * G2$	(0,01)	233414,76
G 5	100 - G3	(0,01)	88,19
ρ_a	G4 / G5	(Kg/m³)	2647

RESUMO		
ρ_a - Densidade Aparente do Agregado	(Kg/m³)	2647 kg/m3
ρ_B - Massa volumica do Betume a 25° C	(Kg/m³)	1040 kg/m3
ρ_{mv} - Densidade máxima da mistura betuminosa	(Kg/m³)	2457 kg/m3
B - % de Betume	(%)	5,0%

Obs:

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO		
CENTRAL:	Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:		
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS		AC 20 BASE 35/50
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA		AMOSTRA: 2
EN 12697 - 5 / METODO A - VOLUMÉTRICO		PK:
		ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

1 - DENSIDADE MÁXIMA

NUMERO DO ENSAIO		1	
Líquido Utilizado:		ÁGUA	
Temperatura do Ensaio (°C)		23°	
ρ_w	Densidade do líquido á temperatura de ensaio (Kg/m³)	997,60	
V_p	Volume do picnómetro (m³)	0,0102282	
m_1	Massa do picnómetro vazio (g)	1637	
m_2	Massa do picnómetro com amostra (g)	3627	
m_3	Massa do picnómetro cheio com água e amostra (g)	13017	
$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / (1000 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w)$	DENSIDADE MÁXIMA DA MISTURA (Kg/m³)	2439	

2 - DENSIDADE APARENTE DO AGREGADO DA MISTURA BETUMINOSA

G 1	B / ρ_B	(0,01)	0,0053
G 2	100 - B	(0,01)	94,50
G 3	$\rho_{mv} * G1$	(0,01)	12,90
G 4	$\rho_{mv} * G2$	(0,01)	230458,42
G 5	100 - G3	(0,01)	87,10
ρ_a	G4 / G5	(Kg/m³)	2646

RESUMO			
ρ_a	Densidade Aparente do Agregado (Kg/m³)	2646 kg/m³	
ρ_B	Massa volumica do Betume a 25° C (Kg/m³)	1040 kg/m³	
ρ_{mv}	Densidade máxima da mistura betuminosa (Kg/m³)	2439 kg/m³	
B	% de Betume (%)	5,5%	

Obs:

Elaborado:

Jua

Verificado:

Adriano



Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	
LOCALIZAÇÃO:	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS ENSAIO ESTABILIDADE MARSHALL EN 12697 - 34	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 2 PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Anel Dinamométrico de	50 KN
-----------------------	-------

% de Bet.	Provete nº	Altura do Provete (mm)	Volume Geométrico (ml)	Carga máxima (KN)	c - factor de correcção	Estabilidade Marshall (KN)	Estabilidade Marshall Média (KN)	Deformação (0,1mm)	Deformação média (mm)
3,5%	20	63,2	524,2	15,5	0,979	15,2	15,6	2,4	2,5
	21	62,97	522,4	16,1	0,985	15,9		2,6	
	22	63,48	526,7	16,0	0,971	15,6		2,6	
	23	63,26	518,4	15,7	0,997	15,7		2,5	
4,0%	24	63,48	526,7	17,2	0,971	16,7	16,9	2,8	2,9
	25	63,26	518,4	17,6	0,997	17,6		2,9	
	26	62,78	521,1	16,2	0,989	16,0		2,9	
	27	61,99	507,2	16,7	1,034	17,3		3,0	
4,5%	28	61,99	507,2	17,6	1,034	18,2	17,9	3,3	3,3
	29	62,9	512,8	18,0	1,016	18,3		3,4	
	30	64,84	529,0	17,8	0,964	17,2		3,2	
	31	63,12	514,8	17,7	1,009	17,8		3,2	
5,0%	32	63,36	517,1	17,3	1,002	17,3	17,6	3,6	3,9
	33	62,81	510,4	17,3	1,023	17,7		3,9	
	34	61,68	509,8	17,2	1,025	17,6		4,1	
	35	61,96	502,8	16,8	1,048	17,7		4,1	
5,5%	36	61,96	502,8	16,5	1,048	17,3	16,9	4,5	4,5
	37	61,55	501,0	16,3	1,055	17,2		4,4	
	38	63,13	523,9	16,8	0,980	16,4		4,6	
	39	62,63	512,9	16,5	1,015	16,8		4,4	

Obs:

Elaborado:  Verificado:  Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LOCALIZAÇÃO:	
CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 2 PK: ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

B	Percentagem de Betume	-	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%
pb	Baridade dos Provetes (Kg/m³)	EN 12697 - 6 Método B	2337	2356	2371	2381	2378
pm	Densidade Máxima (Kg/m³)	EN 12697 - 5 Método A	2506	2490	2472	2457	2439
$V_m = ((\rho_m - \rho_b)/\rho_m) * 100$	Porosidade dos Provetes (%)	EN 12697 - 8	6,7	5,4	4,1	3,1	2,5
$VMA = V_m + B * \rho_b / \rho_b$	% vazios mistura de agregados	EN 12697 - 8	14,6	14,4	14,3	14,6	15,1
$VFB = ((B * \rho_b / \rho_b) / VMA) * 100$	% vazios mistura de agregados preenchidos com ligante	EN 12697 - 8	53,8	62,8	71,6	78,6	83,5
cb = bp * pb / Gb	Teor Volumétrico em Betume	-	7,9	9,1	10,3	11,4	12,6
S	Estabilidade Marshall (KN)	EN 12697 - 34	15,6	16,9	17,9	17,6	16,9
F	Deformação (mm)	EN 12697 - 34	2,5	2,9	3,3	3,9	4,5
S/F	Quociente Marshall (KN/mm)	EN 12697 - 34	6,2	5,8	5,5	4,5	3,8
pB	Peso específico do betume	-	1040 Kg/m3				

Observações:

Elaborado:

[Assinatura]

Verificado:

[Assinatura]

Data:



AURÉLIO MARTINS SOBRINHO & F.ºs. S.A.
Consultoria, Projetos e Execuções

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

LOCALIZAÇÃO:

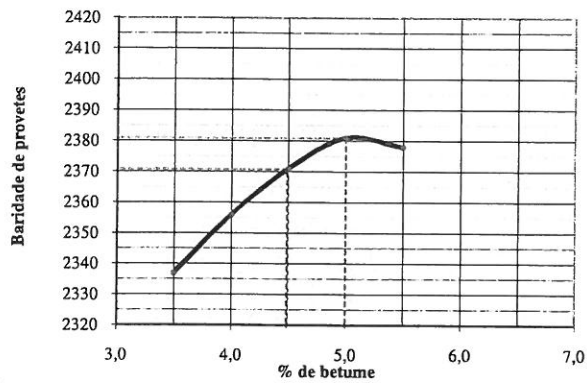
ENSAIO MARSHALL CURVAS CARACTERÍSTICAS

AC 20 BASE 35/50

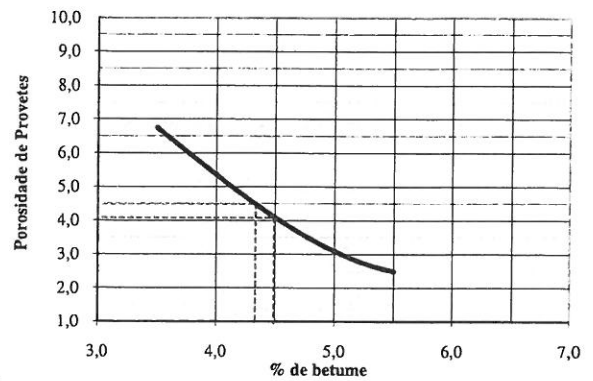
AMOSTRA: 2

PK:

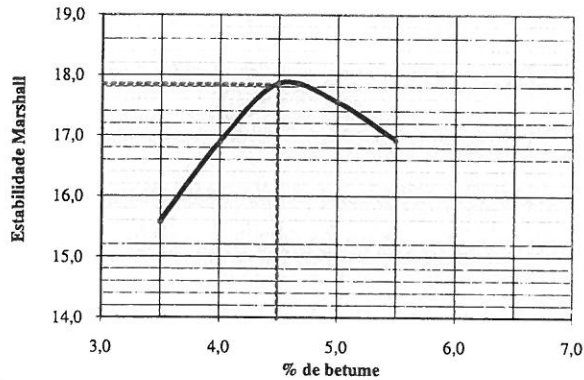
ESTUDO PRÉVIO MARSHALL



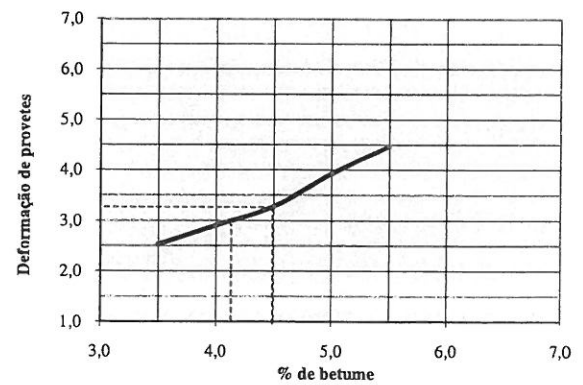
Pb = 5,0 %



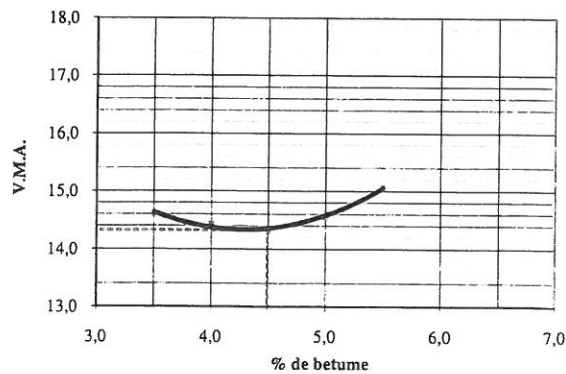
Pb = 4,3 %



Pb = 4,5 %



Pb = 4,1 %



Pb médio = 4,5 %

Deformação correspondente = 3,3 mm

Obs:

Elaborado:

[Signature]

Verificado:

[Signature]

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

CENTRAL: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23 N° 1738
LOCALIZAÇÃO:

ÍNDICE DE RESISTÊNCIA CONSERVADA MARSHALL
MIL STD - 620 A

AC 20 BASE 35/50
AMOSTRA: 2
PK:
ESTUDO PRÉVIO MARSHALL

Tempo de acondicionamento 40 min

Temperatura de Ensaio 60 °C

Moldagem dos provetes			Características dos provetes									
Data	Local	Temp.	N°	Bp	Pb	Vol.	Força mm	K	Força mm Corrigida	Força KN	Def. (mm)	Força/Def KN / mm
23-06-2010	Lab.	160	40	2375	4,5	511,6	847,0	1,00	847,0	18,1	3,20	5,7
23-06-2010	Lab.	160	42	2366	4,5	515,7	777,0	1,00	777,0	16,7	3,30	5,1
23-06-2010	Lab.	160	43	2368	4,5	520,5	830,0	1,00	830,0	17,8	3,20	5,6
23-06-2010	Lab.	160	44	2374	4,5	513,7	835,0	1,00	835,0	17,9	3,20	5,6

MÉDIA 17,6 3,23 5,5

Tempo de acondicionamento 24 Horas

Temperatura de Ensaio 60 °C

Moldagem dos provetes			Características dos provetes									
Data	Local	Temp.	N°	Bp	Pb	Vol.	Força mm	K	Força mm Corrigida	Força KN	Def. (mm)	Força/Def KN / mm
23-06-2010	Lab.	160	41	2372	4,5	517,5	720,0	1,00	720,0	15,5	3,80	4,1
23-06-2010	Lab.	160	45	2370	4,5	516,0	721,0	1,00	721,0	15,5	3,80	4,1
23-06-2010	Lab.	160	46	2376	4,5	504,4	650,0	1,04	676,0	14,5	3,80	3,8
23-06-2010	Lab.	160	47	2365	4,5	509,9	646,0	1,00	646,0	13,9	3,60	3,9

Obs:

MÉDIA 14,9 3,75 4,0

IRC_{Marshall} 84 %

Elaborado: *[Assinatura]* Verificado: *[Assinatura]* Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

ESPECIFICAÇÕES

BETUME 50/70 BITUMEN 50/70

	Unidades Units	Limites Limits	Métodos Methods
Penetração – 25°C, 100g, 5s Penetration – 25°C, 100g, 5s	0.1 mm	50 / 70	ASTM D 5 EN 1426
Temperatura de Amolecimento – Método Anel e Bola Softening Point – Ring and Ball Method	°C	46 / 54	ASTM D 36 EN 1427
Viscosidade Cinemática – 135°C (mínimo) Kinematic Viscosity – 135°C (minimum)	mm ² /s	295	ASTM D 2170 EN 12595
Solubilidade (mínimo) Solubility (minimum)	% (m/m)	99.0	ASTM D 2042 EN 12592
Temperatura de Inflamação – Vaso Aberto (mínimo) Flash Point – Cleveland Open Cup Method (minimum)	°C	230	ASTM D 92 EN 22592

Endurecimento – Método RTFOT (ASTM D 2872 / EN 12607-1) Hardening – RTFOT Method (ASTM D 2872 / EN 12607-1)

Variação de Massa (máximo) Change of Mass (maximum)	% (m/m)	0.5	ASTM D 2872 EN 12607-1
Penetração Retida – 25°C, 100g, 5s (mínimo) Retained Penetration – 25°C, 100g, 5s (minimum)	%	50	ASTM D 5 EN 12607-1
Temperatura de Amolecimento – Método Anel e Bola (mínimo) Softening Point – Ring and Ball Method (minimum)	°C	48	ASTM D 36 EN 1427
Aumento da Temperatura de Amolecimento (máximo) Increase in Softening Point (maximum)	°C	9	CÁLCULO EN 1427

Métodos de Teste Adicionais Additional Test Methods

Ponto Fragilidade Fraass (máximo) Fraass Breaking Point (maximum)	°C	-8	IP 80 EN 12593
Índice de Penetração Penetration Index		-1,5 / +0,7	NLT 181 EN 12591 (B)

FICHA DE SEGURANÇA DE PRODUTO

NOME COMERCIAL DO PRODUTO: **BETUME ASFÁLTICO GALP 50/70**

1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA/PREPARAÇÃO E DA SOCIEDADE

Outras designações	Betume asfáltico 50/70. Betume 50/70. Asfalto 50/70.
Utilização	Betume para pavimentação.
Fornecedor	Petrogal R. Tomás da Fonseca, Torre C, 1600-209 Lisboa Tel.: 21 724 25 00 Fax: 21 724 29 65
Telefones e faxes de emergência	<ul style="list-style-type: none">• Petrogal (24H) PORTO: 22 998 21 15 SINES: 269 86 25 70 ; 269 86 23 12• Número Nacional de Emergência: 112• INEM - Instituto Nacional de Emergência Médica Centro de Informação Antivenenos Tel.: 808 250 143 Fax: 21 330 32 75

2. COMPOSIÇÃO/INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

Uma combinação muito complexa de compostos orgânicos de peso molecular elevado contendo uma proporção relativamente elevada de hidrocarbonetos com números de átomos de carbono predominantemente superiores a C25 com razões carbono-hidrogénio elevadas. Contém também pequenas quantidades de vários metais como níquel, ferro, ou vanádio. É obtida como o resíduo não volátil da destilação do petróleo bruto ou por separação como o refinado de um óleo residual num processo de desasfaltação ou descarbonização.

Composição	Nº CAS	Nº CE	%(m/m)	Símbolos e frases de risco
• Asfalto	8052-42-4	232-490-9	100	-

3. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

Classificação	Produto não classificado como perigoso, segundo os critérios da União Europeia.
Perigos para a saúde humana	À temperatura ambiente o betume não apresenta qualquer risco para a saúde humana.

O betume é manuseado a temperaturas elevadas, podendo causar queimaduras.

Quando aquecido liberta fumos. Embora se considere que estes não provocam riscos significativos para a saúde, a prudência aconselha a limitar ao mínimo a exposição aos mesmos, através da observação de práticas de trabalho correctas e de uma ventilação adequada das áreas de trabalho.

O **sulfureto de hidrogénio** pode acumular-se no espaço livre dos tanques de armazenagem e atingir concentrações potencialmente perigosas.

Perigos para o ambiente

Produto não classificado como perigoso para o ambiente segundo os critérios da União Europeia.

Outros perigos

O betume é armazenado e manuseado acima dos 100°C. O contacto do betume quente com água resulta numa expansão violenta, devido à produção de vapor de água, o que pode provocar a danificação ou perda completa do tecto dos tanques de armazenagem.

Embora não esteja classificado como inflamável, o betume é constituído por hidrocarbonetos que podem arder.

4. PRIMEIROS SOCORROS**Contacto com os olhos**

- Produto frio

Irrigar os olhos com quantidades de água abundantes, assegurando que as pálpebras se mantêm abertas. Recorrer a serviços médicos no caso de aparecimento ou persistência de dor ou vermelhidão.

- Produto quente

Irrigar com quantidades de água abundantes durante, pelo menos, 5 minutos, para dissipar o calor. O betume deve somente ser removido por pessoal qualificado. Obter assistência médica com urgência.

Contacto com a pele

Onde ocorrerem queimaduras, irrigar com água, durante, pelo menos, 10 minutos, para dissipar o calor. Não tentar remover o betume da pele, uma vez que este funcionará como uma compressa esterilizada sobre a pele queimada; no final o betume cairá com a crosta à medida que a queimadura cicatriza. O betume contrai-se durante o arrefecimento, pelo que, em caso de queimadura com adesão do betume à volta de dedos ou membros, devem ser tomadas precauções para evitar o efeito de torniquete.

Durante o arrefecimento do corpo prevenir a hipotermia.

Todas as queimaduras devem ser objecto de cuidados médicos. Em geral, o tratamento deve ser sintomático e dirigido para o alívio de qualquer efeito. Se por qualquer motivo o betume

necessitar ser removido, isso pode ser feito com o auxílio de parafina líquida medicinal ligeiramente aquecida.

Inalação

Se a inalação de névoas, fumos ou vapores causar irritação do nariz ou garganta, ou tosse, retirar a vítima para local arejado. Se os sintomas persistirem, obter assistência médica.

Exposição ao sulfureto de hidrogénio. As vítimas que sofram de efeitos resultantes de exposição ao sulfureto de hidrogénio devem ser imediatamente transportadas para local arejado e assistidas, sem demora, por um médico. As vítimas inconscientes devem ser colocadas em posição de recuperação. Monitorizar a respiração e o pulso. Se a respiração tiver falhado ou se se considerar inadequada, aplicar respiração artificial, preferencialmente boca-a-boca. Fazer massagem cardíaca externa, se necessário. Obter assistência médica imediatamente.

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO**Perigos particulares de incêndio e explosão**

O contacto do betume quente com água resulta numa expansão violenta devido à produção de vapor de água, o que pode provocar a danificação ou perda completa do tecto dos tanques de armazenagem.

Problemas respiratórios ou náuseas por exposição excessiva ao fumos de betume quente.

A combustão tem tendência a formar uma mistura complexa de gases e partículas, incluindo monóxido de carbono e óxidos de enxofre.

Meios de extinção

- Recomendados

Pó químico, espuma, gás inerte, dióxido de carbono, água pulverizada, areia.

- Contra-indicados

Nunca usar jactos de água.

Produtos de combustão potencialmente perigosos

Mistura complexa de gases e partículas, incluindo monóxido de carbono e óxidos de enxofre.

Equipamento de protecção e procedimento

Equipamento de protecção adequado, incluindo luvas, sapatos de protecção, óculos de protecção e/ou aparelho de respiração autónomo. Ver também o capítulo 8 (protecção pessoal).

6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE FUGAS ACIDENTAIS**Precauções individuais**

Em espaços confinados, não permitir que a água ou outro líquido entre em contacto com o betume quente.

O betume quente deve ser manuseado de modo a evitar queimaduras.

Ver também o capítulo 8 (protecção pessoal).

Precauções ambientais**Métodos de limpeza**

Prevenir a entrada do produto em drenos.

- Pequenos derrames
Deixar arrefecer e solidificar. Colocar dentro de contentores para eliminação ou recuperação de acordo com a legislação aplicável.

- Grandes derrames
Prevenir a dispersão abrindo uma vala ou criando uma barreira com areia, terra ou outro material adequado. Senão, tratar como pequenos derrames.

7. MANUSEAMENTO E ARMAZENAGEM**Manuseamento**

O betume é manuseado e armazenado na forma líquida, o que significa a temperaturas elevadas (superiores a 100°C).

Evitar o contacto (queimaduras da pele) e respirar os fumos (irritação do tracto respiratório). Evitar o sobre-aquecimento para minimizar a produção de fumos.

Devem ser usadas mangueiras limpas, secas e resistentes ao calor.

Não utilizar vapor para esvaziar tubagens e mangueiras. Não usar solventes para desobstruir tubagens. Pode utilizar-se calor moderado para desobstrução de tubagens.

Armazenagem

Temperatura de armazenagem: 130-160°C (valores típicos).

Impedir a entrada de água.

No caso de armazenagens prolongadas podem criar-se depósitos nos tectos e paredes dos tanques de armazenagem. Estes depósitos (materiais carbonosos e sulfuretos de ferro) podem ser pirofóricos e auto-inflamarem-se quando em contacto com o ar.

A armazenagem prolongada em tanques a altas temperaturas pode originar acumulação de sulfureto de hidrogénio.

É necessária uma ventilação adequada.

Materiais recomendados para os reservatórios: aço carbono.

Usos específicos

Betume para pavimentação.

8. CONTROLO DA EXPOSIÇÃO**Medidas técnicas de controlo**

O produto tem uma volatilidade baixa, pelo que a probabilidade de se produzirem fumos é reduzida.

A exposição aos fumos de betume deve ser minimizada.

Quando o betume for manuseado em espaços fechados utilizar ventilação local adequada.

Limites de exposição

- Fumos de Betume
TLV - TWA = 0,5 mg/m³ (fracção inalável), ACGIH 2003
VLE = 5 mg/m³, NP 1796/88

- Sulfureto de Hidrogénio

TLV - TWA = 10 ppm, ACGIH 2003
 TLV - STEL = 15 ppm, ACGIH 2003
 VLE = 10 ppm, NP 1796/88

Controlo da exposição profissional

- Respiratória
 Em condições normais de trabalho e de ventilação adequada, não é normalmente necessária. Usar aparelho de protecção respiratória em espaços onde se possa acumular sulfureto de hidrogénio.

- Mãos
 Usar luvas resistentes ao calor.

- Olhos
 Usar óculos de protecção.

- Corpo
 Usar vestuário de protecção resistente ao calor (com as calças dentro das botas e punhos dentro das luvas).
 Usar botas resistentes ao calor.

Sempre que se preveja a ocorrência de projecções do produto quente, usar protecção completa da cabeça, da face e do pescoço.

- Medidas de higiene
 Lavar regularmente os fatos de trabalho de forma a evitar a passagem do betume através dos mesmos.
 A boa higiene pessoal no que se refere às mãos e à roupa interior deve sempre ser mantida durante o decurso do trabalho.

Controlo da exposição ambiental

Manusear e armazenar cumprindo a legislação e as boas práticas aplicáveis.

9. PROPRIEDADES FISICO-QUÍMICAS

Características	Limites e unidades
Estado físico a 20°C	Sólido
Cor	Preto
Penetração a 25°C (100g, 5s)	50-70 (0.1 mm)
Temperatura de amolecimento (anel e bola)	46-54°C
Viscosidade cinemática a 135°C	> 295 mm ² /s
Solubilidade	Hidrossolubilidade a 20°C: insolúvel. Solventes orgânicos: solúvel em tolueno e xileno.
Ponto de inflamação (vaso aberto)	> 230°C
Temperatura de auto-inflamação	> 300°C (valor da literatura)
Massa volúmica a 25°C	> 1.0 ton/m ³
Coeficiente de partição octanol/água	log Pow > 6

10. ESTABILIDADE E REACTIVIDADE

Estabilidade	Produto estável.
Condições a evitar	O aquecimento excessivo, acima das temperaturas máximas recomendadas para o manuseamento e a armazenagem, provoca a degradação do betume e a formação de vapores inflamáveis.
Substâncias a evitar	Não permitir que o produto quente entre em contacto com água ou outros líquidos. Evitar o contacto com agentes oxidantes fortes.
Produtos de decomposição perigosos	Em espaços fechados pode verificar-se a acumulação de gases tóxicos (sulfureto de hidrogénio) acima da superfície do betume.

11. INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA

Contacto com os olhos	O contacto com produto quente provoca queimaduras nos olhos. O contacto directo com pequenas partículas de betume frio pode causar irritação dos olhos. Os vapores de betume quente podem ser ligeiramente irritantes para os olhos.
Contacto com a pele	O betume é manuseado quente, pelo que as queimaduras constituem o principal perigo. Não se considera sensibilizante da pele, embora os fumos condensados de betume possam ser ligeiramente irritantes para a pele. Toxicidade aguda (coelho – derme): LD ₅₀ >2000 mg/kg
Ingestão	A probabilidade de ser acidentalmente ingerido é reduzida devido às altas temperaturas de manuseamento. Toxicidade aguda (ratazana): LD ₅₀ >5000 mg/kg
Inalação	Os fumos podem provocar uma ligeira irritação do tracto respiratório superior. Em tanques de armazenagem o sulfureto de hidrogénio pode representar um perigo potencial.
Cancerigenidade	Produto não classificado como cancerígeno segundo os critérios da União Europeia. Os compostos policíclicos aromáticos (PCA's) existentes nos betumes não diluídos não se consideram bio-disponíveis. No entanto, pensa-se que estes compostos se podem tornar biodisponíveis se os betumes forem misturados com solventes, para obtenção de viscosidades mais baixas à temperatura ambiente.
Mutagenicidade	Produto não classificado como mutagénico segundo os critérios da União Europeia.
Toxicidade para a reprodução	Produto não classificado como tóxico para a reprodução segundo os critérios da União Europeia.

12. INFORMAÇÃO ECOLÓGICA

Ecotoxicidade	O produto não é tóxico para o ambiente. Não é perigoso para as plantas e o meio aquático.
Mobilidade	<ul style="list-style-type: none">• Solo De acordo com as suas propriedades físicas, o betume não se moverá, mantendo-se na superfície.• Água Insolúvel. A solubilidade em água é desprezável. O betume acumula-se normalmente no fundo, embora possa flutuar em algumas circunstâncias.
Persistência e degradabilidade	A degradação é muito lenta. Em condições normais, o produto persistirá.
Potencial de bioacumulação	Embora todos os constituintes dos betumes tenham coeficientes de partição octanol/água superiores a 6, e por isso tenham potencial de bioacumulação, na prática as suas baixas solubilidades em água e os seus elevados pesos moleculares são tais que a biodisponibilidade para os organismos aquáticos é muito limitada. Assim, a bioacumulação dos componentes de betumes é muito improvável.
Outros efeitos adversos	O produto não apresenta qualquer risco significativo para o ambiente. Quando derramado no solo ou em água, o betume quente é rapidamente arrefecido e solidificado. O betume não é inerentemente biodegradável.

13. QUESTÕES RELATIVAS À ELIMINAÇÃO

Processos de eliminação do produto	Os resíduos não são considerados perigosos. Recomenda-se a reciclagem dos resíduos. A eliminação de resíduos e recipientes deve ser feita segundo a legislação aplicável em instalações licenciadas para o efeito.
---	--

14. INDICAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

Precauções durante o transporte	Transportar a temperaturas entre os 140 e 160°C.
Numero ONU	3257
RPE/ADR 2003	<ul style="list-style-type: none">• Classe: 9• Grupo de embalagem: III• Etiqueta: 9• Número de perigo: 99• Designação RPE/ADR: líquido transportado a quente, n.s.a. (designação inglesa: elevated temperature liquid, n.o.s.)

IMO/IMDG Code
(VERSÃO 5.1/2001)

- **Classe:** 9
- **Grupo de embalagem:** III
- **Designação IMO:** Líquido transportado a quente, n.s.a. (designação inglesa: elevated temperature liquid, n.o.s.)

IATA/ICAO
(ED. 44/2003)

Transporte proibido.

15. INFORMAÇÃO SOBRE REGULAMENTAÇÃO

**Legislação europeia
sobre substâncias
perigosas**

Directiva 67/548/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, com a 28ª Adaptação ao Progresso Técnico.

**Legislação
portuguesa sobre
substâncias
perigosas**

Portaria 732-A/96 de 11/12/96
Decreto-Lei nº 330-A/98 de 2/11/98
Decreto-Lei nº 209/99 de 11/06/99
Decreto-Lei nº 195-A/2000 de 22/08/00
Decreto-Lei nº 222/2001 de 8/08/01
Decreto-Lei nº 154-A/2002 de 11/06/02

Etiquetagem

Não aplicável.

Seguir todas as disposições regulamentares locais aplicáveis.

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

**Principais alterações
em relação à edição
anterior**

Capítulo 1: actualização do número de fax do Instituto Nacional de Emergência Médica/Centro de Informação Antivenenos.
Capítulo 14: introdução de informação relativa ao RPE/ADR 2003.
Restante informação da ficha: revisão de dados sobre o produto.

**Principais fontes de
informação utilizadas**

Concawe - European organisation for environment, health and safety.
Outras fontes referidas nos capítulos 8 e 14.

**Símbolos e Frases
de Risco dos
componentes (para
além das definidas
no cap. 15)**

Não aplicável.

Emissão

Galp Energia - Direcção de Ambiente, Qualidade e Segurança
Morada: Rua Tomás da Fonseca, Torre C, 1600-209 Lisboa
Tel.: 21 724 09 61
Fax: 21 724 29 69

Este documento contém informação importante para a garantia de segurança na armazenagem, manuseamento e utilização deste produto. Assim, deverá ser acessível aos trabalhadores envolvidos e aos responsáveis pela segurança.

NOTA:

As informações apresentadas foram compiladas de fontes fidedignas e são consideradas precisas e actuais à data da presente edição, dizendo apenas respeito ao produto e podendo não ser válidas em formulações com outros produtos. A responsabilidade da sua utilização pertence aos utilizadores.

As informações apresentadas pretendem apenas descrever o produto sob o ponto de vista da protecção e segurança do homem e do ambiente, não podendo portanto ser encaradas como especificações do produto.



FICHA TÉCNICA DO PRODUTO - FT 0/5

PÓ DE PEDRA PARA BETUMINOSO
E OBRAS DE ENGENHARIA CÍVIL

Data: 23/03/2010

Edição: 04

Produtor:

J. Bartolomeu, Lda

Origem:

Meimoa

Tipo de Agregado

Granítico

1328
CPD
0155

Dimensão (d/D):

0/5

Aplicação:

Estradas, aeródromos e outras zonas de circulação
Diversas aplicações em obras de engenharia civil.

Norma(s):

EN 13043
EN 13242

Designação comercial:

Pó de Pedra 0/5

EN 13043

Peneiro	Material passado	Limites mínimos	Limites máximos
(mm)	(%)	(%)	(%)
11,2	100	100	100
8	100	98	100
6,3	100		
5,6	100	95	100
4	93		
2	73	63	83
1	54		
0,500	39		
0,250	22		
0,125	11		
0,063	5	2	7

EN 13242

Peneiro	Material passado	Limites mínimos	Limites máximos
(mm)	(%)	(%)	(%)
11,2	100	100	100
8	100	98	100
6,3	100		
5,6	100	95	100
4	93		
2	73	63	83
1	54		
0,500	39		
0,250	22		
0,125	11		
0,063	5	2	7

Características	Categoria		Valor Declarado	
	EN 13043	EN 13242	EN 13043	EN 13242
Dimensão (d/D)			0/5	
Granulometria (série base mais série 1)	G _A 85	G _F 85		
Massa volúmica (Mg/m ³)				
Massa volúmica { densidade aparente densidade da partícula densidade da partícula saturada			2,71	
			2,69	
			2,70	
Absorção de água (% W _{A24})			0,3%	
Teor de finos		f ₃		
Qualidade dos finos { MB (Azul metileno) SE (Equivalente de areia)			0,7	
			64%	
Resistência ao desgaste (M _{DE})				
Reacção alcalis-silica			Não Reactivo	
Teor de cloretos (%)			<0,001%	
Sulfatos solúveis (AS _n)			<0,05%	
Enxofre (%)			0,04%	
Constituintes alteram tempo de presa e resistência			< 120 / < 20%	

Verificado por:



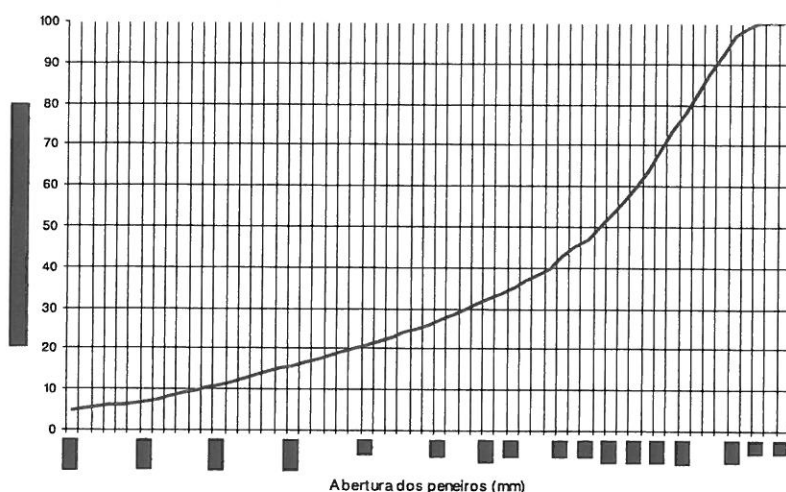
FICHA TÉCNICA DO PRODUTO – FT 0/32
AGREGADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA
PARA OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL

Data: 23/03/2010
Edição: 04

Produtor:	J. Bartolomeu, Lda	Origem:	Meimôa	Tipo de Agregado:	Granítico		1328 CPD 0155
Dimensão (d/D):	0/32	Aplicação:	Diversas aplicações em obras de engenharia civil		Norma(s):		
Designação comercial:	Tout-venant de 1ª						

CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO

Curva granulométrica característica



Peneiro	Material passado	Limites mínimos	Limites máximos
(mm)	(%)	(%)	(%)
63	100	100	100
40	100	98	100
31,5	97	92	99
22,4	83		
20	78		
15	69	59	79
14	64		
12,5	60		
11,2	56		
10	53		
8	47		
6,3	43		
5,6	40		
4	35		
2	27		
1	21		
0,500	16		
0,250	11		
0,125	7		
0,063	5	2	5

Características	Categoria	Valor Declarado
Dimensão (d/D)	-	0/32
Granulometria (série base mais série 1)	G _A 85	-
Massa volúmica (Mg/m ³)		
Massa volúmica (Mg/m ³) { densidade aparente		2,71
Massa volúmica (Mg/m ³) { densidade da partícula		2,67
Massa volúmica (Mg/m ³) { densidade da partícula saturada		2,69
Absorção de água (% WA ₂₄)		0,7%
Teor de finos	f ₅	-
Qualidade dos finos { MB (Azul metileno)		1,0
Qualidade dos finos { SE (Equivalente de areia)		54%
Resistência à fragmentação (Los Angeles) (LA _n)		22
Resistência ao desgaste (M _{DE})		7
Reacção alcalis-silica	-	Não Reactivo
Teor de cloretos (%)	-	<0,001%
Sulfatos solúveis (AS _n)	-	<0,05%
Enxofre (%)	-	<0,04%
Resistência à abrasão		3,8
Constituintes alteram tempo de presa e resistência		< 120 / < 20%

Verificado por:



AURELIO MARTINS BORGES & FIOS, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

OBRA: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LANÇO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 97

PK: RM260

MACADAME A

DATA DE COLHEITA : 14-Out-10

TEMPERATURA DA AMOSTRA: 172°

- ☒ ANÁLISE GRANULOMÉTRICA / PERCENTAGEM DE BETUME
- ☐ DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA
- ☒ DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROVETES BETUMINOSOS
- ☒ ENSAIO ESTABILIDADE MARSHALL
- ☒ ÍNDICE DE RESISTÊNCIA CONSERVADA MARSHALL
- ☐ DETERMINAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE PROVETES BETUMINOSOS
- ☒ CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA POR CAROTAGEM

Obs.:

Mod.107/GQ.1

Operador: Maia

Data:

Verificou:

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

OBRA: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LANÇO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA / PERCENTAGEM DE BETUME

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 97

DATA COLHEITA: 14-10-10

MACADAME A

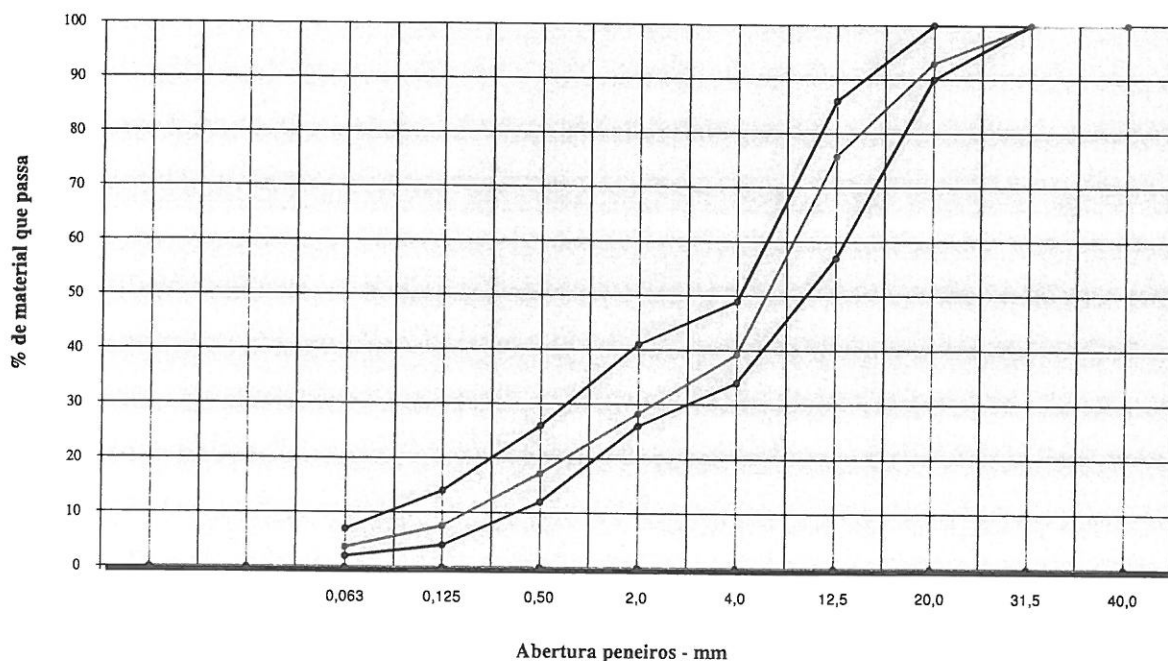
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA				Fuso granulométrico		
Peneiros		Material retido				% acumulada que passa
#	mm	Peso(g)	%(0.1)			
40,0				100,0	100	100
31,5				100,0	100	100
20,0		129,3	7,0	93,0	90	100
12,5		318,1	17,2	75,8	57	86
4,0		675,6	36,5	39,3	34	49
2,0		203,5	11,0	28,2	26	41
0,50		203,9	11,0	17,2	12	26
0,125		177,9	9,6	7,6	4	14
0,063		72,3	3,9	3,7	2	7
FUNDO		68,1	3,7	0,0		
TOTAL		1848,7	100,0			

PERCENTAGEM DE BETUME

p1	Peso do Tabuleiro (g)	3361,3
p2	Peso do Tabuleiro + Amostra (g)	5296,2
p3	Peso do Tabuleiro + Amostra incinerada (g)	5210,0
Pb	Percentagem de Betume (%)	4,5

Conformidade da Granulometria **CONFORME**

Conformidade da % Betume **CONFORME**



Obs:

Mod.157/GQ.0

Operador: Maia
Data:

Verificou: *[Assinatura]*
Data:



AURÉLIO MARTINS SOBREIRO & F.ºs, S.A.
Construção e Obras Públicas

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

OBRA: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LANÇO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA BARIDADE DE PROJETOS BETUMINOSOS

EN 12697 - 6

AC 20 BASE 35/50

AMOSTRA: 97

PK: RM260

MACADAME A

Percentagem de Betume

4,5%

Baridade Maxima Teorica

2472 Kg/m³

Temperatura da água

18°C

ρ_w - Massa Vol. Agua Temp. ensaio

998,7 Kg/m³

MÉTODO: B: Baridade do provete saturado com a superfície seca (SSD)

Numero do ensaio		75	76	77	78
h	Altura do provete - mm	63	62	62	63
d	Diametro do provete - mm	102	102	102	102
m ₁	Peso do Provete no ar - g	1201,3	1196,7	1197,1	1199,4
m ₂	Peso do provete na água - g	702,1	699,8	700,4	701,6
m ₃	Peso provete saturado com a superfície seca - g	1206,6	1202	1202,2	1207,2
$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) * \rho_w - \text{Kg/m}^3$		2378	2380	2383	2369
$\rho_{b, \text{dim}} = (m_1 / ((\pi/4) * h * d^2)) * 10^6 - \text{Kg/m}^3$					

BARIDADE MÉDIA DOS PROJETOS

2377 Kg/m³

Obs:

Mod.159/GQ.0

Operador: Maia

Data:

Verificou:

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO	
OBRA	Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23
LANÇO	
BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - MISTURAS BETUMINOSAS ENSAIO ESTABILIDADE MARSHALL EN 12697 - 34	AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 97 PK: MACADAME A

Anel Dinamométrico de KN

% de Bet.	Provete nº	Altura do Provete (mm)	Volume Geométrico (ml)	Carga máxima (KN)	c - factor de correcção	Estabilidade Marshall (KN)	Estabilidade Marshall Média (KN)	Deformação (0,1mm)	Deformação média (mm)
4,5%	77	62,0	506,6	14,9	1,036	15,5	14,8	3,0	2,8
	78	63,0	514,8	14,1	1,009	14,2		2,7	

Obs:

Elaborado: *Joa* Verificado: *Adriano* Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO		
OBRA	Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LANÇO		
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA CONSERVADA MARSHALL MIL STD - 620 A		AC 20 BASE 35/50 AMOSTRA: 97 PK: MACADAME A

Tempo de acondicionamento	40 min	Temperatura de Ensaio	60 ° C
---------------------------	--------	-----------------------	--------

Moldagem dos provetes			Características dos provetes									
Data	Local	Temp.	Nº	Bp	Pb	Vol.	Força mm	K	Força mm Corrigida	Força KN	Def. (mm)	Força/Def KN / mm
14-10-2010	Lab	170	77	2383	4,5	506,6	639,0	1,04	664,6	15,5	2,95	5,3
14-10-2010	Lab	170	78	2369	4,5	514,8	601,0	1,00	601,0	14,1	2,72	5,2

MÉDIA	14,8	2,84	5,2
-------	------	------	-----

Tempo de acondicionamento	24 Horas	Temperatura de Ensaio	60 ° C
---------------------------	----------	-----------------------	--------

Moldagem dos provetes			Características dos provetes									
Data	Local	Temp.	Nº	Bp	Pb	Vol.	Força mm	K	Força mm Corrigida	Força KN	Def. (mm)	Força/Def KN / mm
14-10-2010	Lab	170	75	2378	4,5	514,8	505,0	1,00	505,0	11,9	3,88	3,1
14-10-2010	Lab	170	76	2380	4,5	506,6	492,0	1,04	511,7	12,0	3,25	3,7

Obs:

MÉDIA	11,9	3,57	3,4
-------	------	------	-----

IRC _{Marshall}	81 %
-------------------------	------

Elaborado: *[Assinatura]* Verificado: *[Assinatura]* Data: _____



AURÉLIO MARTINS SOBRINHO & F.ºS. S.A.
CONSTRUTORA E OBRAS PÚBLICAS

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO		
OBRA:	Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23	Nº 1738
LANÇO		
CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS		AC 20 BASE 35/50
		AMOSTRA: 97
		PK: MACADAME A

Nº	Numero do Provede	75	76	77	78					MÉDIA
B	Percentagem de Betume	-	4,5%							4,5%
ρ _b	Baridade dos Provedes (Kg/m³)	EN 12697 - 6 Método B	2378	2380	2383	2369				2377
ρ _m	Densidade Máxima (Kg/m³)	EN 12697 - 5 Método A	2472							2472
$V_m = ((\rho_m - \rho_b)/\rho_m) \cdot 100$	Porosidade dos Provedes (%)	EN 12697 - 8	3,8	3,7	3,6	4,2				3,8
$VMA = V_m + B \cdot \rho_b / \rho$	% vazios mistura de agregados	EN 12697 - 8	14,0	13,9	13,8	14,3				14,0
$VFB = ((B \cdot \rho_b / \rho) / VMA) \cdot 100$	% vazios mistura de agregados preenchidos com	EN 12697 - 8	72,8	73,2	73,8	70,9				72,7
cb = bp · ρ _b / G _b	Teor Volumétrico em Betume	-	10,2	10,2	10,2	10,1				10,2
S	Estabilidade Marshall (KN)	EN 12697 - 34	15,5	14,2						14,8
F	Deformação (mm)	EN 12697 - 34	3,0	2,7						2,8
S/F	Quociente Marshall (KN/mm)	EN 12697 - 34	5,2	5,2						5,2
ρ _B	Peso específico do betume	-	1040 Kg/m³							

Observações:

Elaborado: Maia

Verificado:

Adriano

Data:

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIO

OBRA: Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Nº 1738

LANÇO:

BOLETINS DE ENSAIOS REALIZADOS - BETÃO ASFÁLTICO
CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA POR CAROTAGEM

AC 20 BASE 35/50

APLICAÇÃO : 14 de Out de 10

DATA DA CAROTAGEM 19 de Out de 10

Diametro dos Carotes 105,0 mm

Temperatura Ensaio 13°C

Densidade Agua 999,4 Kg/m3

Nº do Carote	71	74				
P.K.	132+000	132+600				
Via / Faixa	Eixo DIR	ESQ DIR				
Peso do Carote seco	1920,8	1674,5				
Peso do Carote em água	1110,9	960,6				
Peso do Carote saturado c/sup. Sêca	1924,7	1680,2				
pbssd = $(m1/(m3-m2))*\rho_w$ - Kg/m ³	2359	2326				
pb,dim = $(m1/((\pi/4)*h*d2))*10^6$ - Kg/m ³						
Espessura	75	65				
Grau de Compactação	98,6	97,2				
Porosidade	4,6	5,9				

Nº do Carote						
P.K.						
Via / Faixa						
Peso do Carote seco						
Peso do Carote em água						
Peso do Carote saturado c/sup. Sêca						
pbssd = $(m1/(m3-m2))*\rho_w$ - Kg/m ³						
pb,dim = $(m1/((\pi/4)*h*d2))*10^6$ - Kg/m ³						
Espessura						
Grau de Compactação						
Porosidade						

Densidade Máxima
2472 Kg/m3
Baridade Média Provetes
2392 Kg/m3

Baridade Média dos Carotes	2342 kg/m ³
Porosidade Média	5,2 %
Grau de Compactação Médio	97,9 %
Espessura Média	70 mm

Obs.:

Operador: Maia
Data:

Verificou:
Data:

[Assinatura]

Empreitada de Beneficiação de Pavimentos da A23

Controlo de Betuminosos por Carotagem - Resumo de Ensaios

Nº Carote	Tipo de mistura	Data de aplicação	Sub - lanço	Localização			Via	Máx. teórica	Bar. Provetes	Espessura	Baridade do carote	Porosidade	Grau de compac.
				P.K.	Faixa								
8	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-17	ada de Beneficiação de Pavimentos	136+400	ESQ	ESQ	ESQ	2472	2363	69,0	2317	6,3	98,0
11	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-17	ada de Beneficiação de Pavimentos	135+890	ESQ	ESQ	ESQ	2472	2363	65,0	2340	5,3	99,0
14	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-17	ada de Beneficiação de Pavimentos	135+600	ESQ	ESQ	DIR	2472	2363	70,0	2333	5,6	98,7
17	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-17	ada de Beneficiação de Pavimentos	135+600	ESQ	ESQ	ESQ	2472	2363	66,0	2329	5,8	98,6
23	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-30	ada de Beneficiação de Pavimentos	132+000	ESQ	ESQ	DIR	2472	2360	70,0	2338	5,4	99,1
24	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-30	ada de Beneficiação de Pavimentos	131+400	ESQ	ESQ	Eixo	2472	2360	71,0	2346	5,1	99,4
25	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-31	ada de Beneficiação de Pavimentos	130+900	ESQ	ESQ	ESQ	2472	2360	65,0	2334	5,6	98,9
26	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-08-31	ada de Beneficiação de Pavimentos	130+625	ESQ	ESQ	Eixo	2472	2360	65,0	2343	5,2	99,3
34	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-07	ada de Beneficiação de Pavimentos	129+900	ESQ	ESQ	Eixo	2472	2383	72,0	2363	4,4	99,2
35	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-07	ada de Beneficiação de Pavimentos	129+100	ESQ	ESQ	ESQ	2472	2383	70,0	2363	4,4	99,2
36	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-07	ada de Beneficiação de Pavimentos	128+300	ESQ	ESQ	DIR	2472	2383	69,0	2378	3,8	99,8
44	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	128+100	ESQ	ESQ	Eixo	2495	2383	72,0	2382	4,5	100,0
45	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	127+790	ESQ	ESQ	ESQ	2495	2383	66,0	2378	4,7	99,8
46	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	126+900	ESQ	ESQ	DIR	2495	2383	69,0	2380	4,6	99,9
47	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-09-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	126+400	ESQ	ESQ	Eixo	2495	2383	68,0	2378	4,7	99,8
53	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-06	ada de Beneficiação de Pavimentos	127+800	DIR	DIR	Eixo	2472	2383	76,0	2382	3,7	99,9
56	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-11	ada de Beneficiação de Pavimentos	128+800	DIR	DIR	DIR	2472	2392	71,0	2387	3,4	99,8
59	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-11	ada de Beneficiação de Pavimentos	129+800	DIR	DIR	ESQ	2472	2392	70,0	2386	3,5	99,8
62	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-07	ada de Beneficiação de Pavimentos	128+500	DIR	DIR	Eixo	2472	2383	75,0	2311	6,5	97,0
65	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-12	ada de Beneficiação de Pavimentos	130+800	DIR	DIR	Eixo	2472	2392	65,0	2281	7,7	95,4
68	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-13	ada de Beneficiação de Pavimentos	131+400	DIR	DIR	DIR	2472	2392	80,0	2372	4,1	99,1
71	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	132+000	DIR	DIR	Eixo	2472	2392	75,0	2359	4,6	98,6
74	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-14	ada de Beneficiação de Pavimentos	132+600	DIR	DIR	ESQ	2472	2392	65,0	2326	5,9	97,2
77	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-12	ada de Beneficiação de Pavimentos	130+340	DIR	DIR	ESQ	2472	2392	77,0	2382	3,6	99,6
80	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-18	ada de Beneficiação de Pavimentos	133+000	DIR	DIR	ESQ	2472	2406	72,0	2334	5,6	97,0
83	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-18	ada de Beneficiação de Pavimentos	133+600	DIR	DIR	DIR	2472	2406	70,0	2392	3,2	99,4
86	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-19	ada de Beneficiação de Pavimentos	134+200	DIR	DIR	ESQ	2472	2406	66,0	2346	5,1	97,5
89	AC20 BASE LIGANTE 35/50	2010-10-19	ada de Beneficiação de Pavimentos	134+800	DIR	DIR	DIR	2472	2406	69,0	2350	5,0	97,7
MÉDIAS								2475	2382	70	2354	4,9	98,8